

Équipements
pour l'enseignement
technique

3

Génie thermique et énergie



Table des matières

Bienvenue chez GUNT

Dans ce catalogue, nous vous donnons une vue d'ensemble très complète de nos appareils innovants de démonstration et d'essai.

Appareils GUNT pour:

- l'apprentissage des métiers techniques
- la formation professionnelle et continue du personnel technique dans l'artisanat et l'industrie
- les études d'ingénieur

Génie thermique et énergie

	Introduction	004
1	Principes de base de la thermodynamique	008
2	Échangeurs de chaleur	064
3	Machines à fluide thermiques	110
4	Principes de base du génie frigorifique	198
5	Applications thermodynamiques en CVC	232
	Index	320
	Aperçu de produits	324

Mentions légales

Crédits photo: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, photos fabricant, Shutterstock, 123RF.
Conception graphique & mise en page: Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hambourg.
Impression: imprimé sur papier écologique, blanchi sans chlore.



Thermodynamique chez GUNT

Le génie thermique se compose de la thermodynamique et de la spécialisation en technique énergétique.

La thermodynamique a pour objet l'étude globale de l'énergie et constitue en cela une discipline scientifique et technique fondamentale. On la retrouve ainsi comme matière fondamentale dans pratiquement tous les cursus d'études et d'apprentissage techniques.

La thermodynamique tient une place particulière en technique énergétique, p.ex. pour la planification, la construction et l'exploitation des centrales électriques. Elle joue également un rôle central dans la construction des machines à fluide telles que les turbines, compresseurs, moteurs à combustion interne ou mécanismes d'entraînement.

Afin de couvrir intégralement le sujet très vaste de la thermodynamique, GUNT a décidé de distinguer ces deux thématiques, chacune étant présentée dans un catalogue distinct.

Le catalogue principal est le catalogue 3 **Génie thermique et énergie**. Le **génie frigorifique et climatique** est un sous-domaine important de la thermodynamique. GUNT lui consacre un ouvrage à part, le catalogue 3a.



Les filières d'études, toutes les sciences de l'ingénieur telles que

- génie mécanique
- génie environnemental
- sciences naturelles appliquées
- ingénierie industrielle
- génie civil et architecture
- génie énergétique
- génie des procédés



Apprentissage en

- génie frigorifique
- mécatronique
- technique de ventilation

Filières d'études

- génie mécanique
- ingénierie des approvisionnements
- génie civil
- ingénierie de l'environnement
- génie frigorifique
- ingénierie de bâtiment
- gestion des installations
- ingénierie climatique

Pourquoi "génie thermique"?

Le génie thermique couvre plus que la simple thermodynamique. En génie thermique, il faut prendre en considération les liens et relations qui existent avec d'autres disciplines/matières. L'exemple ci-dessous du moteur à combustion interne montre quelles sont les connaissances dans d'autres disciplines qui sont nécessaires pour la compréhension et le dimensionnement.

Thermodynamique: 1er et 2e principes de la thermodynamique, changement de phase, transfert de chaleur, bilan énergétique

Génie électrique
Allumage: au moyen d'énergie électrique

Chimie
Transformation de matière: l'énergie chimiquement liée du carburant est libérée dans l'espace de combustion par la transformation de matière, le carburant se transforme en gaz d'échappement

Mécanique des fluides
Écoulement de fluides compressibles: on ajoute du carburant et de l'air, les gaz d'échappement sont évacués

Génie des procédés
Mélange de matières: le carburant liquide se mélange à l'air dans le carburateur et passe à l'état gazeux

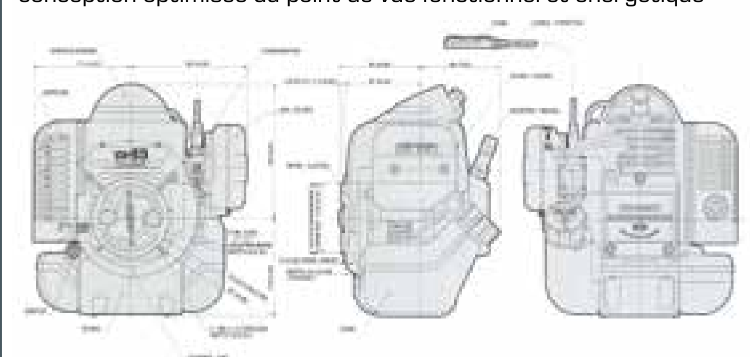
Mécanique appliquée

- frottement: entre le piston et la paroi du cylindre
- dynamique: par le mouvement de la bielle
- solidité de la bielle et du vilebrequin

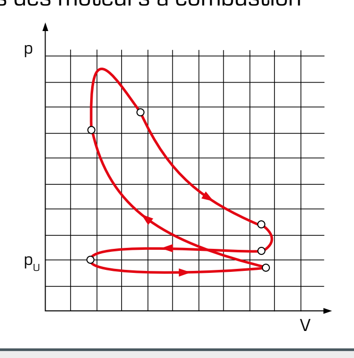
Dynamique des machines

- réduction des vibrations produites par les forces libres dues à la masse
- dimensionnement de paliers

Technique de la construction
conception optimisée du point de vue fonctionnel et énergétique



Techniques informatiques et de l'information
pour les cycles des moteurs à combustion interne,
p.ex. le cycle de Seiliger





Thermodynamique chez GUNT

Structure du catalogue

Le catalogue 3 est constitué de cinq chapitres. En introduction au sujet, on commence par aborder les principes de base de la thermodynamique. Suivent l'application et la pratique.

Pour constituer son catalogue sur la **thermodynamique**, GUNT s'est basé sur les programmes classiques de l'enseignement technique supérieur en Allemagne, ainsi que sur des ouvrages techniques.

Principes de base et introduction



Chapitre 1 | Principes de base de la thermodynamique

Grandeurs d'état thermodynamiques | Principes du transfert de chaleur | Transition entre phases

Application et pratique



Chapitre 2 | Échangeurs de chaleur

- transfert thermique
- récupérateurs
- échangeurs de chaleur par contact direct
- échangeur de chaleur à lit fluidisé



Chapitre 3 | Machines à fluide thermiques

- centrales thermiques à vapeur
- turbines à gaz
- compresseurs à piston
- moteurs à combustion interne

Chapitre 4 | Principes de base du génie frigorifique

- principes de la production du froid
- installation frigorifique à compression
- applications frigorifiques



Chapitre 5 | Applications thermodynamiques en CVC

- production d'eau chaude
- génie climatique et technique de ventilation
- GUNT-RHLine Renewable Heat



Séries d'appareils issus de la gamme de produits sur la thermodynamique

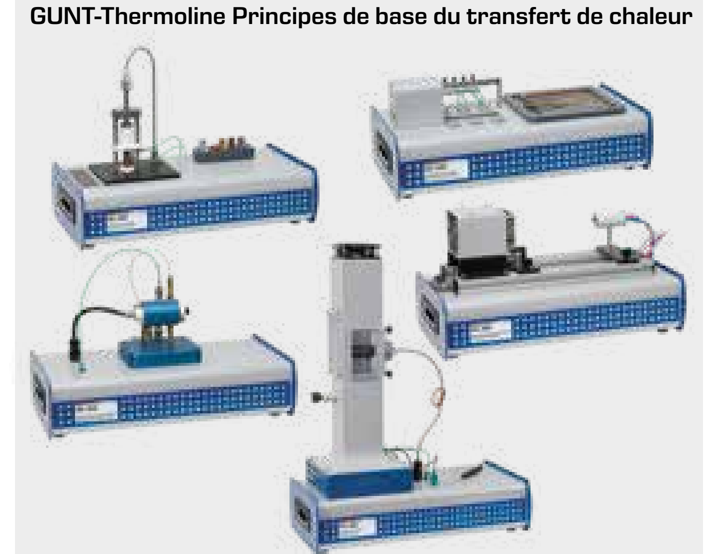


Chapitre 1 | Principes de base de la thermodynamique



Chapitre 2 | Échangeurs de chaleur

GUNT-Thermoline Principes de base du transfert de chaleur



Série WL 110 Échangeurs de chaleur avec unité d'alimentation



Chapitre 4 | Principes de base du génie frigorifique



Chapitre 5 | Applications thermodynamiques en CVC

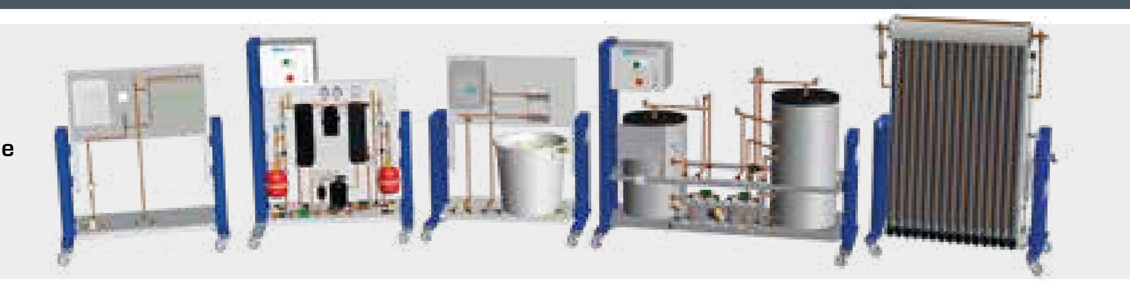
ET 915 Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base



Chapitre 5 | Applications thermodynamiques en CVC

GUNT-RHLine Renewable Heat:

HL 320 Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur



1

Principes de base de la thermodynamique

Introduction

Connaissances de base Principes de base de la thermodynamique 010
Connaissances de base Cycles 012

Grandeurs d'état thermodynamiques

Connaissances de base Grandeurs d'état thermodynamiques 016
WL 102 Transformations d'état des gaz 018
WL 103 Détente des gaz parfaits 020
WL 201 Principes de base de la mesure d'humidité de l'air 022
WL 202 Principes de base de la mesure de température 024
WL 203 Principes de base de la mesure de pression 026
WL 920 Techniques de mesure de la température 028

Principes du transfert de chaleur

Connaissances de base Transport de chaleur lié et non lié à la matière 030
WL 362 Transfert d'énergie par rayonnement 032
WL 372 Conduction thermique radiale et linéaire 034
WL 376 Conductivité thermique dans les matériaux de construction 036
WL 377 Convection et rayonnement 038
Aperçu GUNT-Thermoline Principes de base du transfert de chaleur 040
WL 420 Conduction thermique dans des métaux 042
WL 422 Conduction thermique dans des fluides 044
WL 430 Conduction thermique et convection 046
WL 440 Convection libre et forcée 048
WL 460 Transfert de chaleur par rayonnement 050
WL 900 Conduction thermique en régime stationnaire et dynamique 052

Transition entre phases

Connaissances de base Transition entre phases 054
WL 210 Procédé d'évaporation 056
WL 220 Procédé d'ébullition 058
WL 204 Pression de vapeur de l'eau 060
WL 230 Procédé de condensation 062



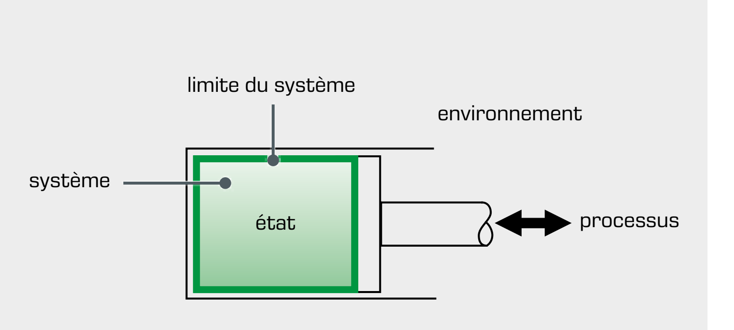
Connaissances de base

Principes de base de la thermodynamique

La thermodynamique est la théorie générale des processus de conversion d'énergie et de matière: les modifications de la distribution de l'énergie entre des formes différentes ont pour effet de créer du travail. Les principes de base de la thermodynamique ont été développés en étudiant les rapports entre volume, pression et température sur les machines à vapeur. Le choix de thèmes concerne les appareils de base présentés dans ce chapitre.

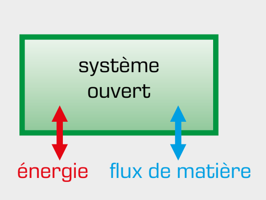
Systèmes et lois de la thermodynamique

- **système**: zone de l'étude thermodynamique
- **environnement**: zone extérieure au système
- **limite du système:** démarcation entre le système et l'environnement
- **processus:** influences de l'extérieur sur le système
- **état:** ensemble de toutes les propriétés mesurables à l'intérieur du système
- **grandeurs d'état:** toutes les propriétés mesurables du système servant à décrire son état
- **transformation d'état:** effet d'un processus sur l'état



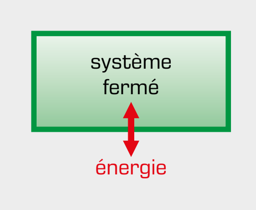
Système ouvert

de l'énergie ou de la matière peuvent être échangées avec l'environnement en dehors des limites du système



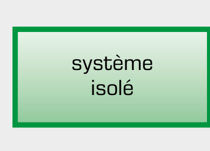
Système fermé

aucune masse ne dépasse les limites du système



Système isolé

ni la masse ni l'énergie ne dépasse les limites du système



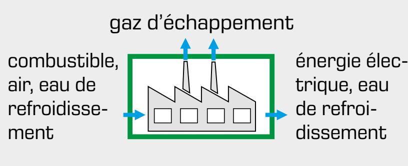
pas d'échange

Un transfert d'énergie sous la forme de chaleur ou de travail a les effets suivants dans les trois systèmes:

une variation de l'énergie du flux de matière

gaz d'échappement

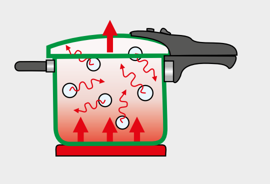
combustible, air, eau de refroidissement



énergie électrique, eau de refroidissement

sur l'exemple d'une centrale thermique

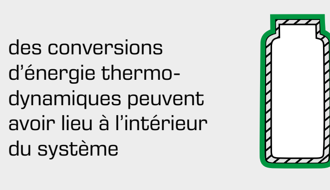
une augmentation de l'énergie interne du système



sur l'exemple d'un autocuiseur

l'énergie est constante

des conversions d'énergie thermodynamiques peuvent avoir lieu à l'intérieur du système



sur l'exemple d'une bouteille thermos idéale

Principes de la thermodynamique

1er principe de la thermodynamique

Conservation de l'énergie dans les systèmes thermodynamiques

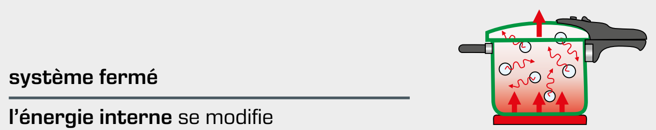
L'énergie ne se perd ni ne se crée, elle passe seulement d'une forme à une autre (elle se transforme).

La signification des trois systèmes est illustrée dans le coin inférieur gauche.

système ouvert

la teneur en énergie du flux de matière se modifie

système fermé



l'énergie interne se modifie

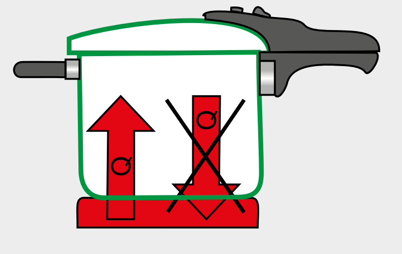
système isolé

l'énergie est constante

2e principe de la thermodynamique

Tous les processus naturels et techniques sont irréversibles.

Le 2e principe est une restriction du 1er, car dans la réalité, lors de tout processus, de l'énergie est libérée dans l'environnement. Cette énergie ne peut être ni utilisée ni reconvertie.



Se référant à l'exemple de l'autocuiseur sous pression

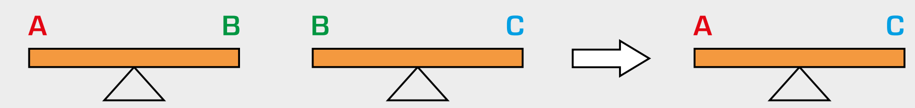
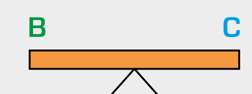
une fois que l'intérieur de la casserole est chaud, il est impossible de retransférer cette chaleur à la plaque chauffante bouillante.

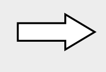
3e principe de la thermodynamique = principe de Nernst

Le point zéro absolu de 0 Kelvin est une grandeur théorique. Il ne peut pas être atteint dans la pratique. La température la plus basse jamais atteinte est de $2 \cdot 10^{-5}$ K.

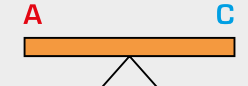
Principe zéro de la thermodynamique = loi de l'équilibre thermique

Le système A est en équilibre thermique avec le système B. Le système B est également en équilibre thermique avec le système C. On peut donc en conclure que le système A est forcément en équilibre thermique avec le système C.







Dans l'ordre chronologique, le principe zéro a été formulé après les trois autres. Mais comme il s'agit du principe fondamental de la thermodynamique, on l'a placé devant les trois autres. On lui a attribué la désignation zéro, pour ne pas avoir à modifier a posteriori les désignations des autres principes.





Connaissances de base

Cycles

Les **cycles thermodynamiques** sont utilisés dans le domaine technique pour décrire la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique et inversement.

Lors de ce procédé, un fluide passe périodiquement par différentes **transformations d'état** telles que la compression et l'expansion, l'évaporation et la condensation ou le chauffage et le refroidissement. Lors d'un cycle, le fluide revient toujours à son état de départ après être passé par les différentes transformations d'état; il peut donc être de nouveau utilisé.

On peut utiliser comme fluides aussi bien des matières qui restent en permanence à l'état gazeux telles que l'air ou l'hélium, ou des matières dont l'état d'agrégation change pendant le cycle (changement de phase) comme l'eau, l'ammoniaque, les hydrocarbures fluorés ou le CO_2.

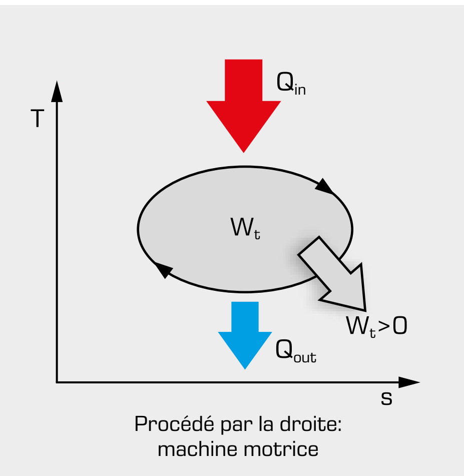
Étant donné qu'un changement de phase convertit nettement plus d'énergie qu'un simple chauffage ou refroidissement, les procédés avec transformation de phase offrent une densité d'énergie plus élevée et requièrent des différentiels de température moindres.

Les cycles peuvent être utilisés dans les machines motrices ou les machines réceptrices. Les machines motrices transforment l'énergie thermique en énergie mécanique, p. ex. dans une centrale électrique à vapeur. Dans les machines réceptrices, on apporte de l'énergie mécanique qui est transformée en énergie thermique, p. ex. dans une installation frigorifique à compression.

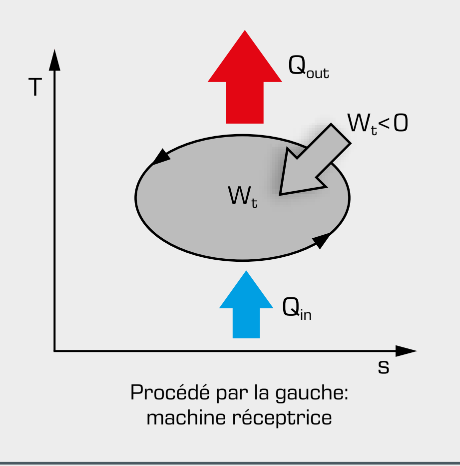
Représentation des cycles dans des diagrammes d'état

On peut représenter de manière claire un cycle thermodynamique dans ce que l'on appelle des diagrammes d'état. Les diagrammes d'état les plus fréquemment utilisés sont les suivants:

- **diagramme p,V:** pression **p** en fonction d'un volume spécifique **v**, adapté à la représentation de la puissance mécanique. Il est souvent utilisé pour les compresseurs à piston alternatif et les moteurs à combustion interne avec un fluide de travail purement gazeux. Les procédés cycliques peuvent ici bien être observés, étant donné qu'il existe un rapport fixe entre la modification du volume et le temps. La surface circonscrite donne une mesure du travail mécanique accompli, c'est ce que l'on appelle le travail utile technique.
- **diagramme h,s:** enthalpie **h** en fonction de l'entropie **s**, pour la représentation des procédés dans des turbines à vapeur. Il est souvent utilisé pour la vapeur d'eau et sert d'outil pour le dimensionnement des turbines à vapeur.
- **diagramme log p,h:** représentation logarithmique de la pression **p** en fonction de l'enthalpie spécifique **h**; il est particulièrement bien adapté aux procédés de refroidissement en génie frigorifique, étant donné qu'on peut lire ici directement sur le diagramme les flux thermiques qui sont représentés sous la forme de sections horizontales. Pour l'échelle de pression verticale, on utilise une division logarithmique, car elle permet d'obtenir une bonne représentation des courbes limites de phases.
- **diagramme T,s:** température **T** en fonction de l'entropie **s**, adapté à la représentation des relations thermodynamiques. Le sens de rotation du cycle indique s'il s'agit d'une machine motrice ou d'une machine réceptrice. Le **procédé par la droite** (sens des aiguilles d'une montre) indique qu'il s'agit d'une machine motrice, le **procédé par la gauche** (dans le sens antihoraire) qu'il s'agit d'une machine réceptrice. Dans le procédé par la droite, de la chaleur est absorbée à un niveau élevé de température, et libérée à une température basse. Dans le procédé par la gauche, de la chaleur est absorbée à une température basse, et libérée à une température élevée. Le procédé entraîné par la gauche est donc adapté à la pompe à chaleur ou à la machine frigorifique. La surface circonscrite donne une mesure du travail utile technique, comme c'est également le cas dans le diagramme p,V.



Procédé par la droite:
machine motrice



Procédé par la gauche:
machine réceptrice

W_t travail utile technique, **Q** énergie thermique, **T** température, **s** entropie

Exemples de cycles thermodynamiques

Type	Machine motrice/ réceptrice	Fluide de travail	État d'agrégation
centrale électrique à vapeur	machine motrice	eau	liquide-gazeux
moteur à combustion interne	machine motrice	air/gaz de combustion	gazeux
turbine à gaz	machine motrice	air/gaz de combustion	gazeux
moteur Stirling	machine motrice	air, hélium	gazeux
centrale électrique ORC (Organic Rankine Cycle)	machine motrice	hydrocarbures fluorés, hydrocarbures	liquide-gazeux
machine frigorifique	machine réceptrice	hydrocarbures fluorés, hydrocarbures, ammoniaque, etc.	liquide-gazeux
machine frigorifique Stirling	machine réceptrice	air, hélium	gazeux

Quelques cycles intéressants sur le plan technique sont présentés ci-après avec leurs diagrammes.

Le cycle de Carnot

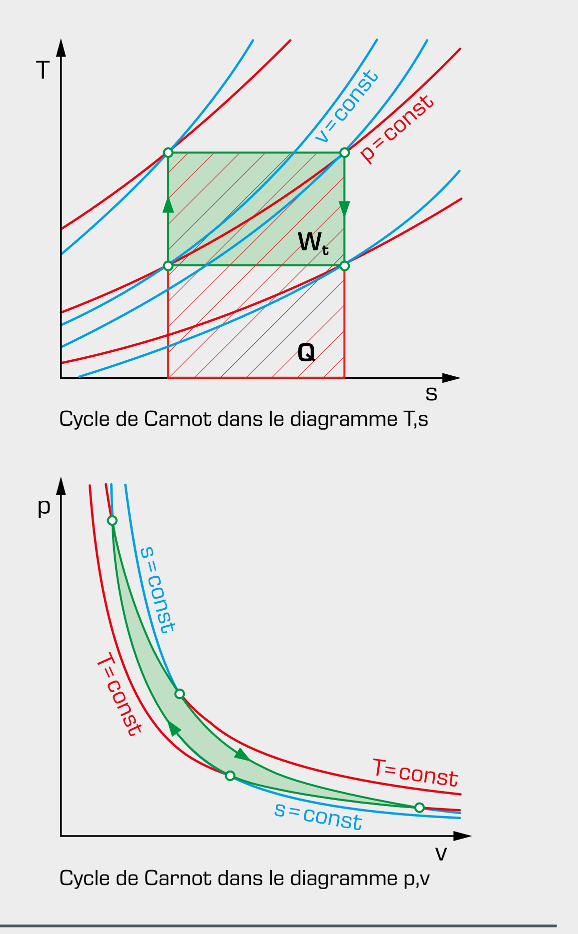
Dans le diagramme T,s, le cycle de Carnot forme un rectangle. La surface du rectangle donne une mesure du travail utile technique **W_t**. La surface entre la température zéro et la température de procédé maximale donne la mesure de l'énergie thermique utilisée **Q**. Elle permet de calculer le rendement **η** du cycle de Carnot:

$$\eta = \frac{W_t}{Q} = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}}$$

Le rendement maximum d'un cycle thermodynamique dépend donc uniquement des températures maximales et minimales absolues **T_{max}**, **T_{min}**. Le cycle de Carnot renseigne ainsi sur la qualité d'un cycle technique quel qu'il soit. On remarque également que tout cycle thermodynamique a besoin d'un différentiel de température pour pouvoir accomplir du travail. Le rendement du cycle de Carnot est le rendement théorique maximal possible d'un cycle.

Les transformations d'état requises pour le cycle de Carnot telles que la compression ou l'expansion isotherme et isentropique sont très difficiles à réaliser d'un point de vue technique. C'est pourquoi ce cycle, malgré son rendement élevé, n'est intéressant que d'un point de vue théorique.

Un autre inconvénient important du cycle de Carnot est représenté dans le diagramme p,v ci-contre. Malgré des différentiels de pression et de volume importants, la superficie du diagramme et donc le travail mécanique accompli sont très faibles. Ce qui signifie que la réalisation du cycle de Carnot donne une machine imposante, lourde et de faible puissance.



Cycle de Carnot dans le diagramme T,s

Cycle de Carnot dans le diagramme p,v

W_t travail utile technique, **Q** énergie thermique, **T** température, **p** pression, **v** volume spécifique, **s** entropie

Connaissances de base

Cycles

Centrale thermique à vapeur

Diagramme T,s de la centrale thermique à vapeur

Le diagramme T,s montre le cycle de Clausius-Rankine d'une centrale thermique à vapeur. Le fluide de travail est l'eau ou la vapeur d'eau.

- **1 – 2** l'eau subit un chauffage **isobare** dans une chaudière à une pression de chaudière de 22 bar et s'évapore
- **2 – 3** surchauffage **isobare** de la vapeur à 300°C
- **3 – 4** la vapeur subit une expansion **polytropique** dans la turbine à vapeur et passe à une pression de 0,2 bar, ce qui libère de l'énergie mécanique
- **Point 4** zone de vapeur humide: le titre de la vapeur n'est plus que de 90%
- **4 – 5** condensation de la vapeur
- **5 – 1** augmentation de la pression sur la pression de chaudière par la pompe à condensat et à eau d'alimentation, le cycle est bouclé

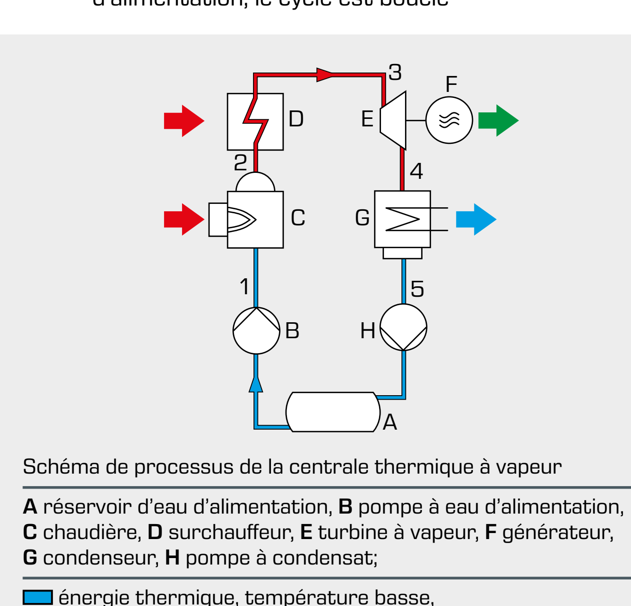


Schéma de processus de la centrale thermique à vapeur

A réservoir d'eau d'alimentation, **B** pompe à eau d'alimentation, **C** chaudière, **D** surchauffeur, **E** turbine à vapeur, **F** générateur, **G** condenseur, **H** pompe à condensat;

énergie thermique, température basse,
énergie thermique, température élevée,
énergie mécanique / électrique

Installation de turbine à gaz

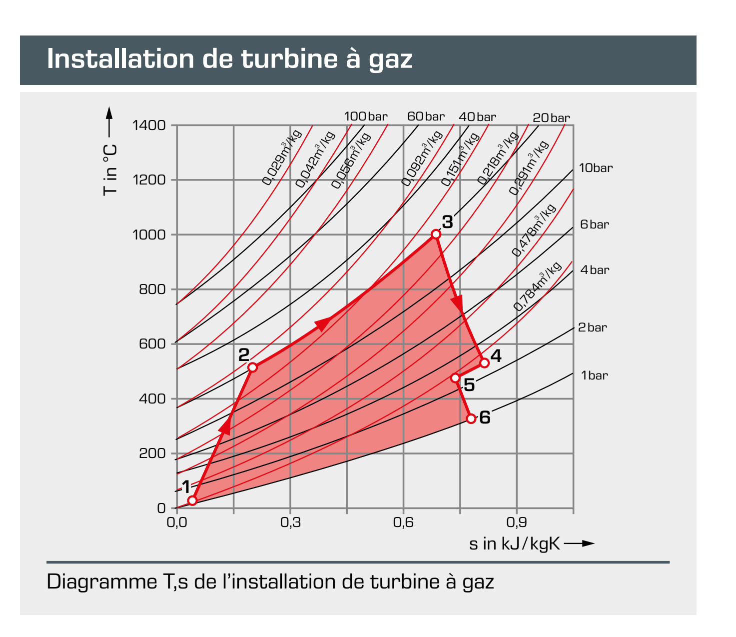


Diagramme T,s de l'installation de turbine à gaz

Le diagramme T,s montre un cycle de turbine à gaz avec expansion à deux étages dans un agencement à deux lignes d'arbres.

- **1 – 2** l'air subit une compression **polytropique** à une pression de 20bar; l'air a une température de 500°C à la sortie du compresseur
- **2 – 3** chauffage **isobare** de l'air à la température d'entrée de la turbine haute pression de 1000°C par injection et combustion de combustible
- **3 – 4** détente **polytropique** dans la turbine haute pression, qui entraîne le compresseur
- **Point 5** le gaz subit un refroidissement **isobare** dans le passage qui mène à la turbine de puissance
- **5 – 6** la seconde détente dans la turbine de puissance: le gaz d'échappement usagé se détend et n'est pas reconduit dans le cycle; c'est pourquoi on parle de turbine à gaz à cycle ouvert; la chaleur de processus est ici libérée dans l'environnement

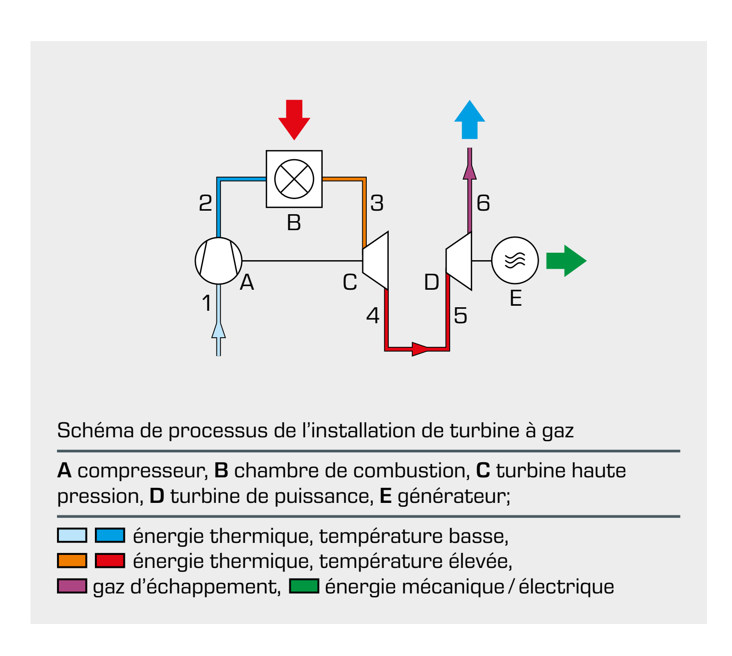


Schéma de processus de l'installation de turbine à gaz

A compresseur, **B** chambre de combustion, **C** turbine haute pression, **D** turbine de puissance, **E** générateur;

énergie thermique, température basse,
énergie thermique, température élevée,
gaz d'échappement, énergie mécanique / électrique

Moteur à combustion interne

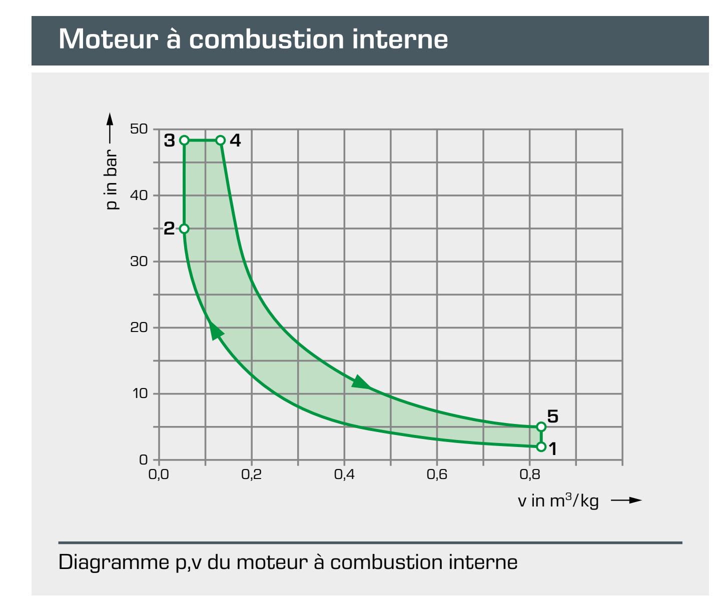


Diagramme p,v du moteur à combustion interne

Le diagramme p,v montre le cycle de Seiliger d'un moteur à combustion interne. Sur le moteur à combustion interne, toutes les transformations d'état ont lieu tour à tour dans la même chambre, celle du cylindre.

- **1 – 2** le gaz subit une compression **polytropique**
- **Point 2** allumage suivi de la combustion du carburant

Division idéalisée de la combustion en:
- **2 – 3** part **isochore** de la combustion
- **3 – 4** part **isobare** de la combustion

- **4 – 5** expansion polytropique **(isentropique)** avec rendement effectif
- **5 – 1** détente **isochore** et changement de charge

Sur le moteur à 2 temps, cela a lieu sans course supplémentaire, sur le moteur à 4 temps, cela est suivi d'une course d'échappement et d'aspiration. Tout comme celui de la turbine à gaz, le cycle de Seiliger est un cycle ouvert.

Le cycle de Seiliger est un cycle de comparaison ou un cycle idéal basé sur l'hypothèse d'un moteur idéal. Le processus de travail réel est représenté dans le diagramme d'indicateur.

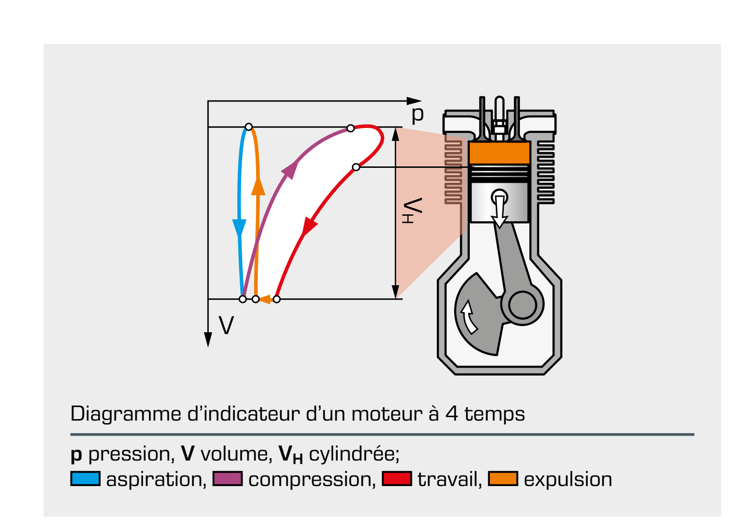


Diagramme d'indicateur d'un moteur à 4 temps

p pression, **V** volume, $\mathbf{V_H}$ cylindrée;
aspiration, compression, travail, expulsion

Installation frigorifique

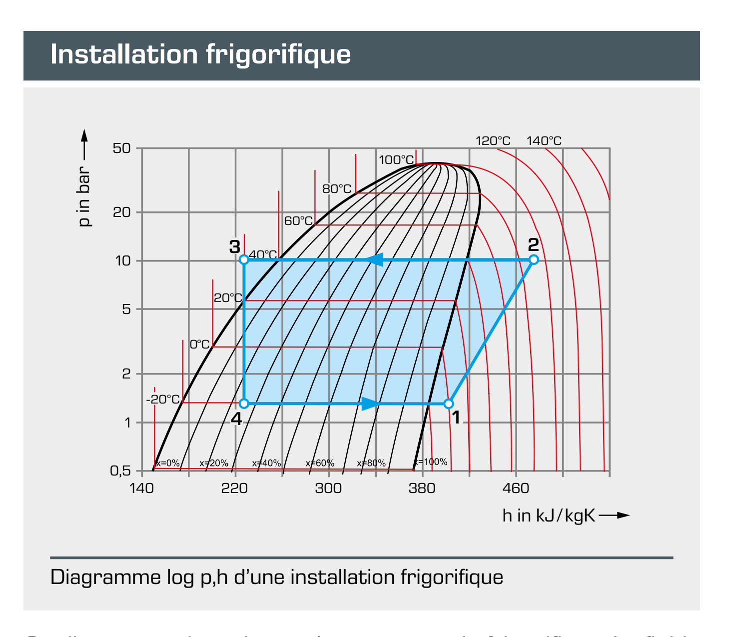


Diagramme log p,h d'une installation frigorifique

Ce diagramme log p,h représente un cycle frigorifique. Le fluide de travail est l'agent réfrigérant R134a, hydrocarbure fluoré.

- **1 – 2** compression **polytropique**
- **2 – 3** refroidissement **isobare** et condensation avec libération de chaleur
- **3 – 4** détente **isenthalpique** à la pression d'évaporation
- **4 – 1** évaporation **isobare** avec absorption de chaleur

Après une certaine surchauffe de la vapeur d'agent réfrigérant, cette dernière est à nouveau aspirée et comprimée par le compresseur au point 1. Le cycle est ainsi bouclé.

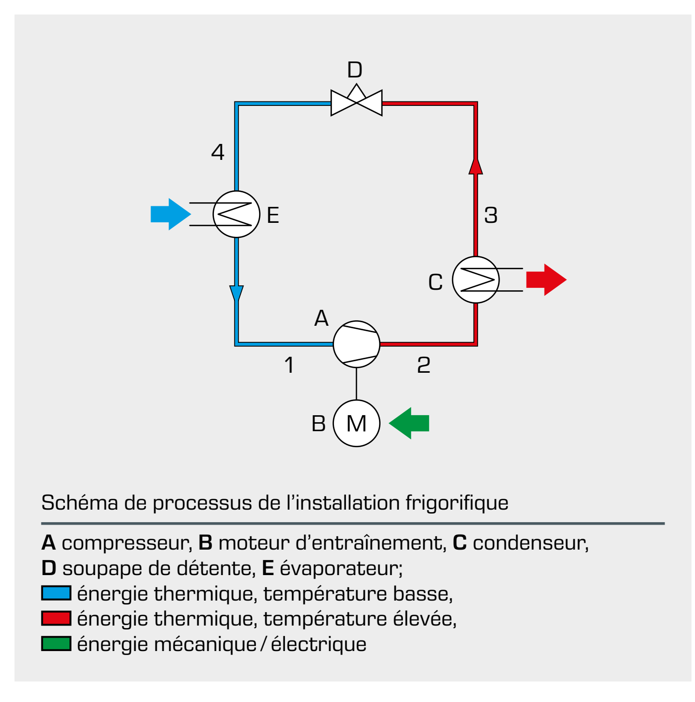


Schéma de processus de l'installation frigorifique

A compresseur, **B** moteur d'entraînement, **C** condenseur, **D** soupape de détente, **E** évaporateur;

énergie thermique, température basse,
énergie thermique, température élevée,
énergie mécanique / électrique



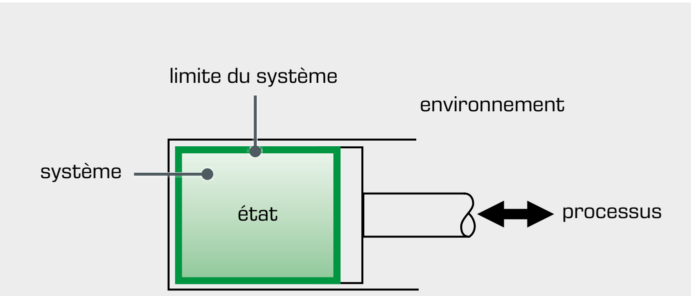
Connaissances de base

Grandeurs d'état thermodynamiques

Grandeurs et fonctions d'état thermodynamiques

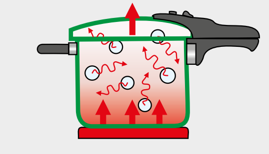
Les grandeurs d'état sont les propriétés mesurables d'un système. Pour décrire l'état d'un système, il faut indiquer au moins deux grandeurs d'état indépendantes telles que:

- la pression (**p**)
- la température (**T**)
- le volume (**V**)
- la quantité de matière (**n**)



Les variables d'état permettent de déduire les fonctions d'état:

- **énergie interne (U):** l'énergie thermique du système fermé au repos. Au cours des processus, l'énergie apportée de l'extérieur entraîne une modification de l'énergie intérieure.
  $\Delta U = Q + W$
  - **Q:** énergie thermique apportée au système
  - **W:** travail mécanique exercé sur le système, ce qui entraîne un apport de chaleur



Une augmentation de l'énergie interne du système en utilisant un autocuiseur, par exemple.

- **enthalpie (H):** définie comme étant la somme de l'énergie interne et du travail de déplacement **p × V**
  $dS = \delta Q_{rev}/T$
- **entropie (S):** renseigne sur l'ordre d'un système et sur les possibilités afférentes de disposition des particules dans le système
  La modification de l'entropie **dS** est appelée chaleur réduite.
  $dS = \delta Q_{rev}/T$
  - **δQ_{rev}**: modification réversible de la chaleur
  - **T**: température absolue



Moteur à vapeur

Lorsque la machine à vapeur a été mise au point il y a plus de 200 ans, les physiciens se sont demandé pourquoi seul un faible pourcentage de l'énergie thermique était converti en énergie mécanique. Le terme entropie a été introduit par Rudolf Clausius pour expliquer pourquoi le rendement des machines thermiques est limité à quelques pourcents. Les machines thermiques transforment un différentiel thermique en travail mécanique. Parmi les machines thermiques, on peut citer par exemple la machine à vapeur, la turbine à vapeur ou le moteur à combustion interne.



Moteur V6 d'une voiture de course



Roue d'une turbine à vapeur à l'état démonté

Transformation d'état des gaz

En physique, on a introduit un modèle idéalisé d'un gaz réel, afin de pouvoir expliquer plus simplement les processus des gaz. Ce modèle représente une simplification importante des états réels, et est désigné sous le terme de gaz idéal. De nombreux processus thermodynamiques des gaz en particulier peuvent être expliqués et décrits mathématiquement à l'aide de ce modèle.

Équation d'état pour les gaz idéaux:
$p \times V = m \times R_s \times T$
- **m:** masse
- **R_s:** constante spécifique du gaz concerné

Transformations d'état d'un gaz idéal

Transformation d'état	isochore	isobare	isotherme	isentropique
Condition	V = constante	p = constante	T = constante	S = constante
Conséquence	dV = 0	dp = 0	dT = 0	dS = 0
Loi	p/T = constante	V/T = constante	p×V = constante	$p \times V^{\kappa}$ = constante κ = exposant isentropique

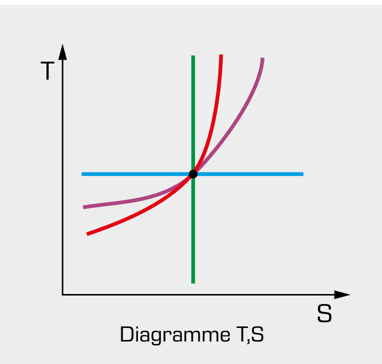


Diagramme T,S

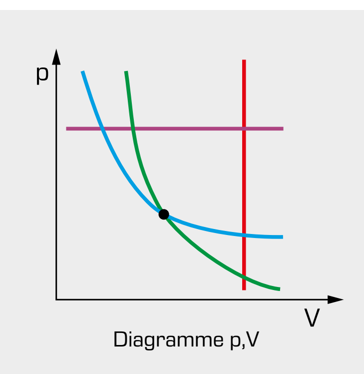


Diagramme p,V

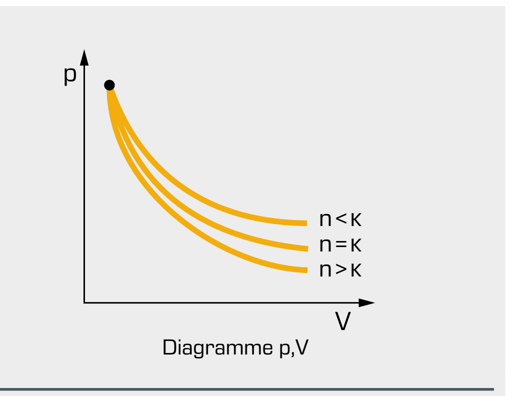
On peut représenter avec clarté les transformations d'état dans des diagrammes.

Transformations d'état dans des conditions réelles

Transformation d'état	polytropique
Condition	processus technique dans des conditions réelles
Conséquence	échange de chaleur avec l'environnement
Loi	$p \times V^n$ = constante n = exposant polytropique

Les transformations d'état susmentionnées sont des cas particuliers de transformation d'état polytropique, dans lesquels une partie de la chaleur est échangée avec l'environnement.

isochore	$n \rightarrow \infty$
isobare	n = 0
isotherme	n = 1
isentropique	n = κ



Transformations d'état polytropiques avec différents échanges de chaleur:
n<κ émission de chaleur,
n>κ absorption de chaleur

WL 102
Transformations d'état des gaz



Description

- **transformations d'état isotherme et isochore de l'air**
- **logiciel GUNT d'acquisition, de traitement et de visualisation des données de mesure**

La connaissance des lois relatives aux gaz est fondamentale en thermodynamique, et fait donc partie intégrante de toute formation en thermodynamique.

L'appareil d'essai WL 102 permet d'expérimenter deux transformations d'état: la transformation d'état isotherme, également connue sous le nom de loi de Boyle-Mariotte, et la transformation d'état isochore, qui se produit à volume constant. Les réservoirs transparents permettent d'observer la transformation d'état. L'air est utilisé comme gaz de test.

Dans le premier réservoir, situé sur la gauche, le volume d'air emprisonné hermétiquement est réduit ou augmenté au moyen d'un compresseur et d'huile hydraulique. La transformation d'état isotherme se produit. Le compresseur peut également servir de pompe à vide. Lorsque les modifications se produisent lentement, la transformation d'état se fait à une température pratiquement constante.

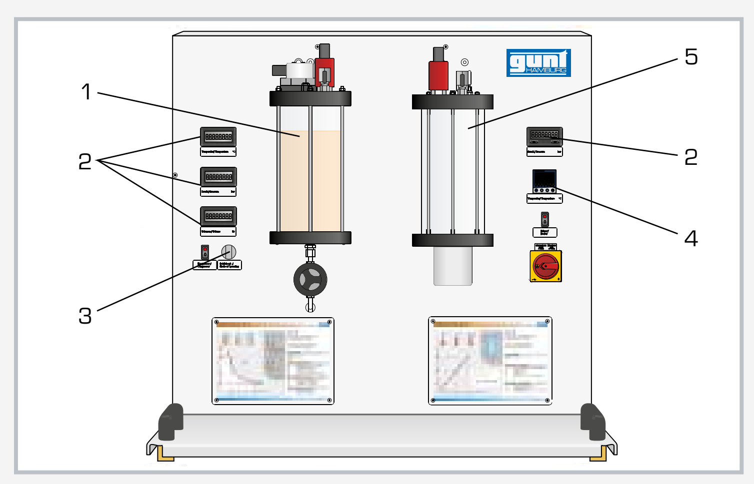
Dans le second réservoir, situé sur la droite, la température du gaz de test est augmentée au moyen d'un chauffage électrique régulé, et l'augmentation de pression qui s'ensuit est mesurée. Le volume du gaz emprisonné reste constant.

Les valeurs de température, pression et volume sont mesurées de manière électronique, affichées numériquement et transférées vers un PC pour y être traitées.

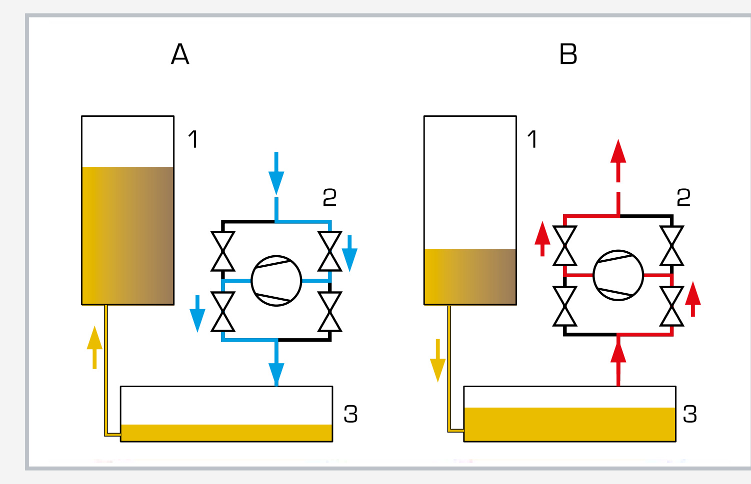
Contenu didactique/essais

- étudier expérimentalement les lois qui régissent les transformations d'état des gaz
- transformation d'état isotherme, loi de Boyle-Mariotte
- transformation d'état isochore, 2e loi de Gay-Lussac

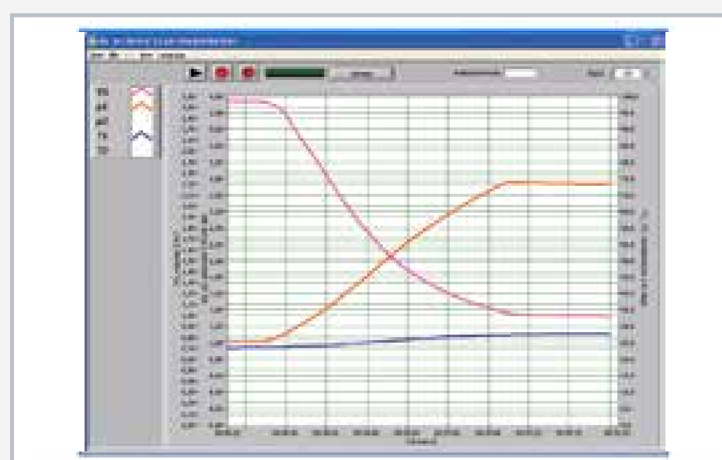
WL 102
Transformations d'état des gaz



1 réservoir 1 pour la transformation d'état isotherme, 2 affichages numériques, 3 soupape 5/2 voies pour la commutation compression/détente, 4 régulateur de chauffage, 5 réservoir 2 pour la transformation d'état isochore



Représentation du changement de volume
1 réservoir rempli d'huile pour la transformation d'état isotherme, 2 agencement de soupapes avec compresseur, 3 réservoir de stockage; A compression (bleu), B expansion (rouge)



Capture d'écran du logiciel: évolution au cours du temps de la compression isotherme

Spécification

[1] étude expérimentale des lois régissant les gaz
[2] réservoir de mesure transparent 1 pour l'étude de la transformation d'état isotherme
[3] remplissage d'huile hydraulique pour le changement de volume du gaz
[4] le compresseur incorporé produit les différences de pression nécessaires pour déplacer le volume d'huile
[5] compresseur utilisable également comme pompe à vide
[6] soupape à 5/2 voies pour le basculement entre la compression et la détente
[7] réservoir de mesure transparent 2 pour l'étude de la transformation d'état isochore
[8] chauffage électrique avec régulation de température dans le réservoir 2
[9] capteurs et indicateurs numériques pour les températures, pressions et volumes
[10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur / pompe à vide
- puissance: 60W
- pression à l'entrée: 213mbar
- pression à la sortie: 2bar

Régulateur de température
- PID, 300W, limitée jusqu'à 80°C

Plages de mesure
- température:
  - réservoir 1: 0...80°C
  - réservoir 2: 0...80°C
- pression:
  - réservoir 1: 0...4bar abs.
  - réservoir 2: 0...2bar abs.
- volume:
  - réservoir 1: 0...3L

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 900x550x900mm
Poids: env. 50kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 103
Détente des gaz parfaits



Contenu didactique/essais

- détermination du coefficient adiabatique selon Clément-Desormes
- transformation d'état adiabatique de l'air
- transformation d'état isochore de l'air

Description

- **fonctionnement avec dépression et surpression**
- **mesure de pression précise**
- **pratique de l'expérience de Clément-Desormes**

Les lois des gaz font partie des principes de base de la thermodynamique et sont traitées dans tous les cours de thermodynamique.

L'appareil d'essai WL 103 permet d'étudier la détente des gaz parfaits. L'objectif principal consiste à déterminer de manière expérimentale le coefficient adiabatique de l'air en utilisant la méthode de Clément-Desormes.

L'appareil d'essai est constitué principalement de deux réservoirs cylindriques reliés l'un à l'autre. Il est possible de créer une dépression dans l'un des réservoirs et une surpression dans l'autre.

Pour permettre la formation de la dépression et de la surpression dans les réservoirs, ces derniers sont reliés par un compresseur. La compensation de pression peut se faire soit avec l'environnement, soit avec l'autre réservoir par le biais d'un bypass. En raison de la vitesse élevée de la compensation de pression, le changement d'état est quasi adiabatique. La compensation de pression s'effectue au moyen de robinets à tournant sphérique.

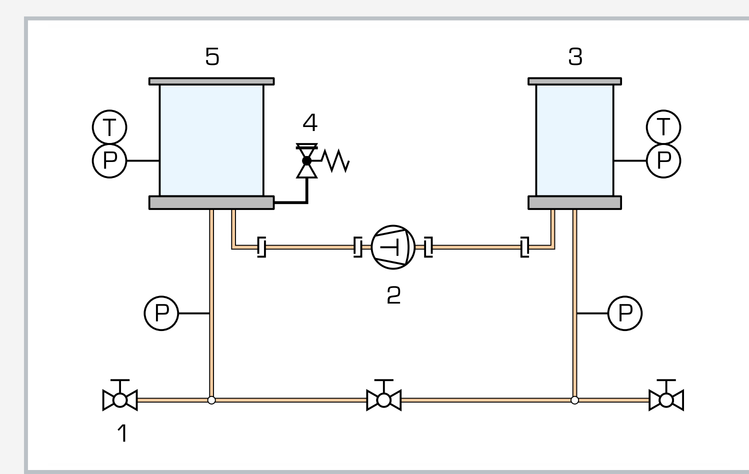
Pour pouvoir déterminer le coefficient adiabatique avec la méthode de Clément-Desormes, des instruments précis de mesure de pression ont été intégrés aux réservoirs. Les températures et pressions mesurées sont enregistrées, puis transférées au logiciel et affichées.

Le logiciel GUNT du WL 103 permet de bénéficier de tous les avantages offerts par la réalisation et l'évaluation des essais assistées par ordinateur.

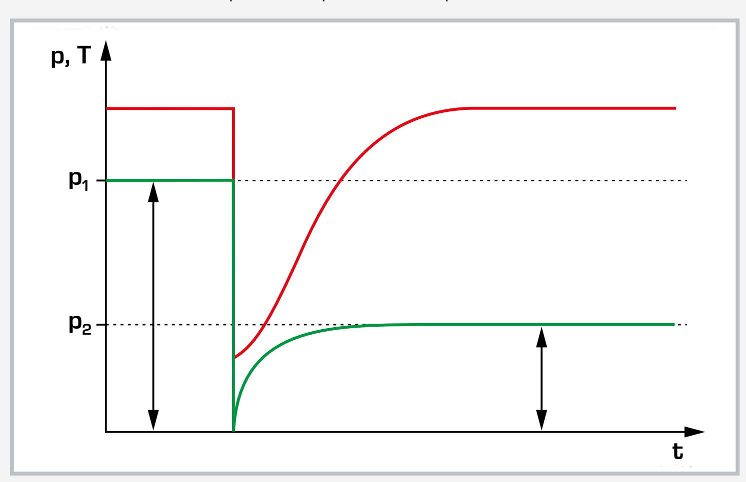
WL 103
Détente des gaz parfaits



1 réservoir en surpression, 2 soupape de sécurité, 3 robinet à tournant sphérique, 4 manomètre, 5 compresseur, 6 réservoir en dépression



1 robinet à tournant sphérique, 2 compresseur, 3 réservoir en dépression, 4 soupape de sécurité, 5 réservoir en surpression; P pression, T température



Évolution schématique d'un essai de Clément-Desormes typique; p pression, T température, t temps, rouge: température, vert: pression

Spécification

[1] comportement des gaz parfaits
[2] mesure précise des pressions et températures
[3] composants transparents
[4] expérience de Clément-Desormes
[5] détermination du coefficient adiabatique de l'air
[6] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Réservoir en surpression
- volume: 20,5L
- diamètre: 0,25m
- pression de service max.: 0,9bar

Réservoir en dépression
- volume: 11L
- diamètre: 0,18m
- pression de service min.: -0,6bar

Plages de mesure
- température: 0...150°C
- pression: 0...1,6bar (abs)

230V, 50Hz, 1 phase
Lxlxh: env. 670x590x680mm
Poids: env. 36kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 201
Principes de base de la mesure d'humidité de l'air



Description

- **différentes méthodes de mesure de l'humidité**
- **chambre climatique avec humidité ajustable et porte transparente**

La mesure de l'humidité de l'air joue un grand rôle dans de nombreuses branches de l'industrie, comme par exemple pour le séchage ou pour la climatisation des bâtiments ou des véhicules. Il existe différentes méthodes de mesure pour déterminer l'humidité.

Le banc d'essai WL 201 permet la mesure de l'humidité de l'air avec quatre instruments différents, qui peuvent être comparés directement: deux hygromètres différents, un capteur d'humidité capacitif et un psychromètre.

Les psychromètres travaillent selon le principe du refroidissement par évaporation et comparent la température ambiante à la température de bulbe humide. Les hygromètres utilisent la caractéristique de certaines fibres, comme par exemple les cheveux, qui se dilatent si l'humidité de l'air augmente. Dans le cas du capteur capacitif, la constante diélectrique d'une couche se modifie et sa capacité est ainsi également modifiée, en raison des molécules d'eau absorbées.

L'élément principal du banc d'essai est la chambre de climatisation avec porte transparente. Cette chambre peut être humidifiée et déshumidifiée, et comporte les quatre instruments. Un élément Peltier est utilisé pour la déshumidification. Un pulvérisateur à ultrasons sert à l'humidification. Un ventilateur sert à la circulation de l'air et à un bon brassage.

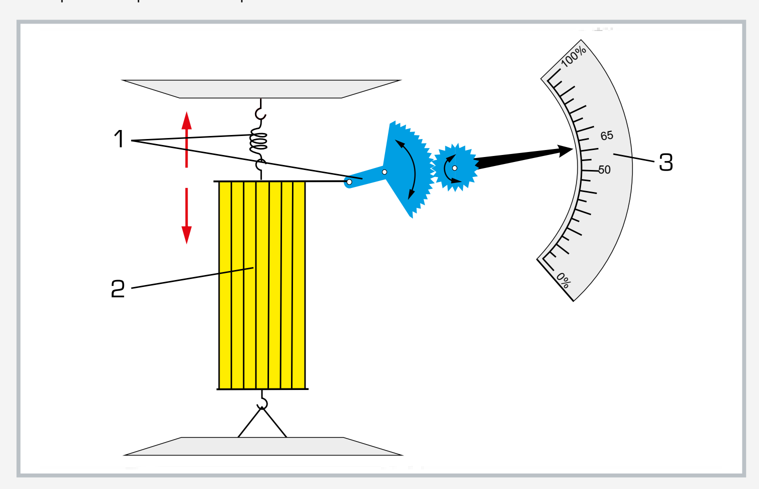
Contenu didactique/essais

- méthodes de mesure de l'humidité de l'air
  - mesure psychrométrique d'humidité
  - mesure hygrométrique d'humidité
  - mesure capacitive d'humidité
- grandeurs caractéristiques de description de l'humidité de l'air
- changements d'état de l'air humide sur le diagramme h,x
- détermination de l'humidité relative avec
  - psychromètre
  - hygromètre à cheveu
  - hygromètre à fibres synthétiques
  - capteur d'humidité capacitif
- structure et fonctionnement des instruments
- comparaison des instruments

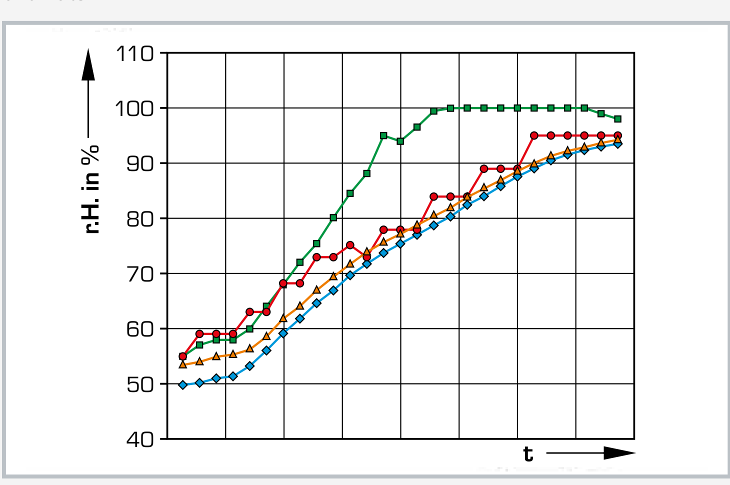
WL 201
Principes de base de la mesure d'humidité de l'air



1 capteur d'humidité capacitif, 2 éléments d'affichage et de commande, 3 humidificateur, 4 psychromètre, 5 hygromètre à cheveu, 6 déshumidificateur, 7 hygromètre à fibres synthétiques et capteur de température combiné



Principe de l'hygromètre à cheveu: 1 mécanique pour la mesure de la modification de longueur de la mèche de cheveux en fonction de l'humidité, 2 mèche de cheveux, 3 échelle d'humidité



Humidité relative (r. H.) en fonction du temps (t) dans le cas d'une humidité croissante; bleu: capteur capacitif, orange: hygromètre à fibres synthétiques, rouge: psychromètre, vert: hygromètre à cheveu

Spécification

[1] différentes méthodes de mesure de l'humidité
[2] chambre climatique avec humidité ajustable et porte transparente
[3] humidification par un pulvérisateur à ultrasons
[4] déshumidification par élément Peltier
[5] ventilateur de circulation d'air
[6] 2 instruments mécaniques: psychromètre, hygromètre à cheveu
[7] 2 instruments électroniques: capteur capacitif, hygromètre à fibres synthétiques et capteur de température combiné

Caractéristiques techniques

Humidificateur
- pulvérisateur à ultrasons
- puissance absorbée: 21,6W
- interrupteur en cas de manque d'eau

Déshumidificateur
- élément Peltier
  - puissance frigorifique: 56,6W (température ambiante 50°C)
  - surface de refroidissement: 1600mm^2

Hygromètre à cheveu avec appareil de mesure à aiguille
- plages de mesure: 0...100% d'hum. rel.

Hygromètre à fibres synthétiques
- tension de sortie: 0...10V
- plages de mesure: 0...100% d'hum. rel. / -30...80°C

Capteur capacitif avec affichage numérique
- tension de sortie: 0...10V
- plages de mesure: 1...100% d'hum. rel.

Psychromètre avec thermomètre
- plages de mesure: -10...60°C, séparation: 0,5°C

230V, 50Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1400x800x1630mm
Poids: env. 110kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 psychromètre
2 hygromètres
1 documentation didactique

WL 202

Principes de base de la mesure de température



Description

- **introduction expérimentale à la technique de mesure de température: méthode, domaines d'application, caractéristiques**
- **appareil pour essais de laboratoire principalement, également adapté à la démonstration**

La mesure de la température fait partie des tâches fondamentales dans le domaine de la technique de mesure. Parallèlement aux thermomètres de type conventionnel, on utilise de nos jours essentiellement des sondes de température électriques.

Le montage expérimental WL 202 offre une vue d'ensemble des différentes méthodes de mesure de température. Outre les méthodes de mesure non électriques, telles que celles basées sur les thermomètres à gaz et à liquide et les thermomètres à bilame, toutes les méthodes de mesure électriques typiques peuvent être traitées au cours des essais. Les températures mesurées électriquement sont affichées directement sur des afficheurs numériques programmables. Un signal de tension (0...10V), proportionnel à la température, est disponible sur des connecteurs de laboratoire, si bien que l'évolution de la température peut être saisie avec un enregistreur par exemple.

Pour mesurer l'humidité relative, on utilise un psychromètre avec deux thermomètres, dont l'un, celui qui est sec, mesure la température de l'air (dite température sèche). Le thermomètre humide est enveloppé dans un chiffon de coton humide et mesure le refroidissement par évaporation. La différence entre ces deux températures, permet de déterminer l'humidité relative.

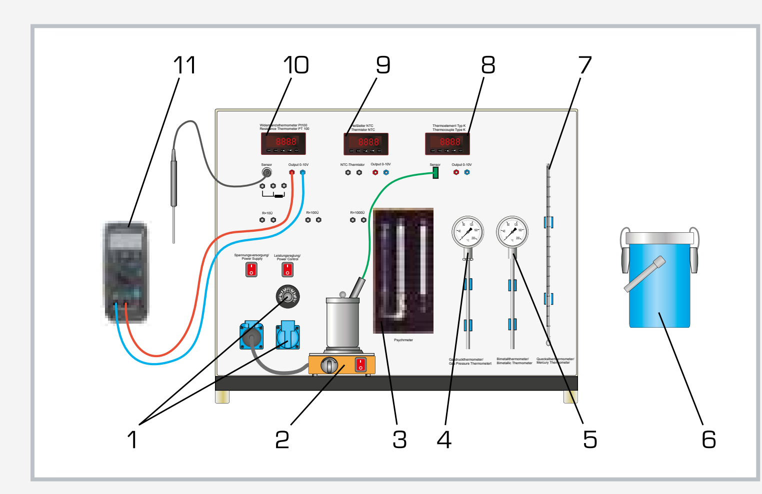
Un multimètre numérique à résistances de précision sert à l'étalonnage des instruments de mesure électriques. Diverses sources de chaleur, ou accumulateurs (thermoplongeur, réservoir isolé et élément chauffant de laboratoire), permettent d'obtenir des plages de température dans lesquelles les instruments de mesure utilisés fonctionnent habituellement. Une mallette à outils sert à ranger les sondes, les câbles, les bandes de mesure de température et le thermoplongeur.

Contenu didactique/essais

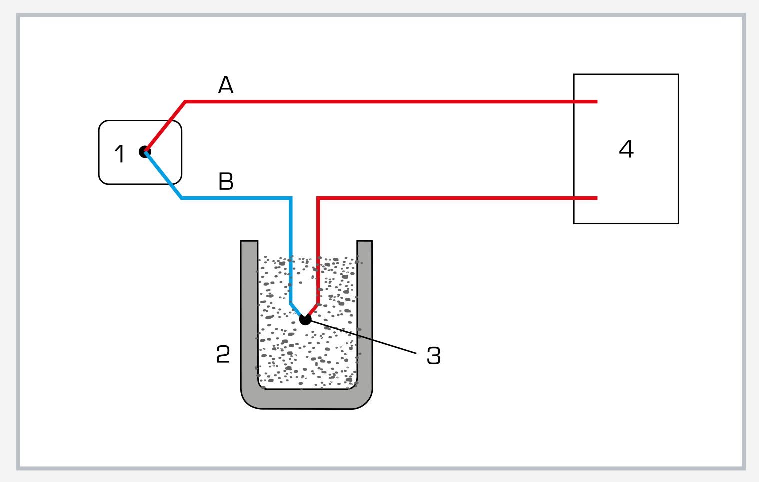
- acquisition des principes de base de la mesure de température à travers des essais
- apprentissage de différentes méthodes, connaissance de leurs domaines d'application et de leurs particularités
  - méthodes non électriques: thermomètres à gaz et à liquide, thermomètres à bilame, bandes de mesure de température
  - méthodes électriques: thermocouple, thermomètre à résistance électrique Pt100, thermistance CTN
- détermination de l'humidité de l'air avec un psychromètre
- étalonnage de sondes de température électriques

WL 202

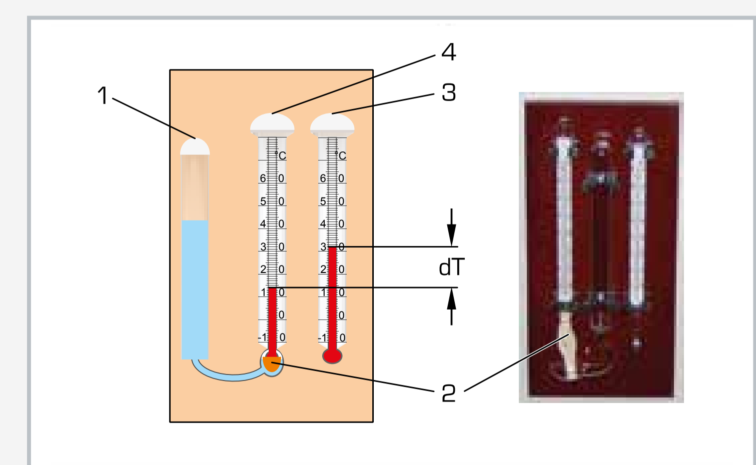
Principes de base de la mesure de température



1 prise de courant à régulation de puissance, 2 élément chauffant de laboratoire pour eau et sable, 3 psychromètre pour la détermination de l'humidité de l'air, 4 thermomètre à pression de gaz, 5 thermomètre à bilame, 6 bouteille thermos, 7 thermomètre à mercure, 8 affichage numérique thermocouple type K, 9 affichage numérique thermistance (CTN), 10 affichage numérique Pt100, 11 multimètre



Mesure de température avec un thermocouple type K: A) nickel-chrome, B) nickel; 1 point de mesure, 2 réservoir à température constante, 3 point de référence, 4 voltmètre



Psychromètre: 1 réservoir pour l'eau, 2 chiffon de coton humide pour envelopper le thermomètre humide, 3 thermomètre (dite température sèche), 4 thermomètre humide; dT différence de température

Spécification

[1] essais fondamentaux de mesure de température avec 7 appareils de mesure typiques
[2] différentes sources de chaleur ou accumulateurs: élément chauffant de laboratoire, thermoplongeur, bouteille thermos
[3] appareils d'étalonnage: résistances de précision et multimètre numérique
[4] thermomètre à liquide, à bilame et à pression de gaz
[5] sondes de température: Pt100, thermocouple type K, thermistance (CTN)
[6] différentes bandes de mesure de température
[7] psychromètre de mesure de l'humidité
[8] mallette à outils sert à ranger des sondes, câbles, bandes de mesure de température et du thermoplongeur

Caractéristiques techniques

Thermoplongeur
- puissance: 300W
- ajustage de la puissance fournie via une prise de courant à régulation de puissance

Élément chauffant de laboratoire
- puissance: 450W
- température max.: 425°C

Bouteille thermos: 1L

Plages de mesure
- Pt100: 0...100°C
- thermocouple type K: 0...1000°C
- thermistance (CTN): 20...55°C
- thermomètre à liquide: -10...250°C
- thermomètre à bilame, thermomètre à pression de gaz: 0...200°C
- bandes de mesure de température: 29...290°C

Résistances de précision: 10 Ω, 100 Ω, 1000 Ω
Psychromètre
- 2x température: 0...60°C
- humidité rel.: 3...96%

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 800x450x650mm (appareil d'essai)
Poids total: env. 45kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 mallette
1 jeu de câbles
1 élément chauffant de laboratoire
1 thermoplongeur
1 bouteille thermos
1 multimètre
1 documentation didactique

WL 203
Principes de base de la mesure de pression



Description

- **comparaison de différentes méthodes de mesure de la pression**
- **mesure des surpressions et dépressions**
- **dispositif d'étalonnage avec manomètre à tube de Bourdon pour l'étalonnage de manomètres mécaniques**

En ce qui concerne les sciences de l'ingénieur, la mesure de la pression est un élément important dans les domaines de la construction d'installations et de turbomachines, dans la construction aéronautique, ainsi qu'en génie des procédés. La détermination d'autres grandeurs élémentaires, telles que le débit ou la vitesse d'écoulement, est également possible à partir de la mesure de la pression.

L'appareil d'essai WL 203 permet de déterminer la pression au moyen de deux méthodes de mesure différentes: de manière directe par le biais d'une mesure de la longueur d'une colonne de liquide (manomètre à tube en U, manomètre à tube incliné) et indirectement par la mesure du changement de forme d'un tube de Bourdon (manomètre à tube de Bourdon).

Avec un manomètre à tube en U, la pression a pour effet de déplacer la colonne de liquide. Le différentiel de pression est lu directement sur une échelle, et est utilisé comme indicateur de la pression existante.

Une branche montante est située sur le manomètre à tube incliné. Une faible différence de hauteur modifie donc fortement la longueur de la colonne de liquide.

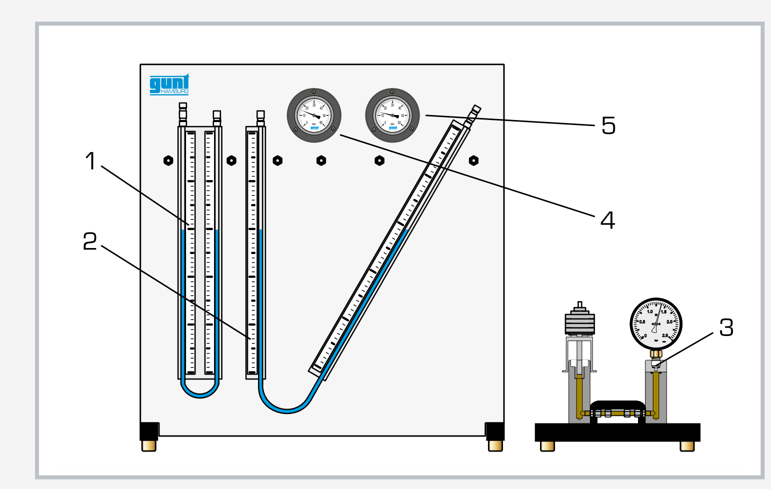
Le mode de fonctionnement du manomètre à tube de Bourdon est basé sur la modification de la section du tube de Bourdon, courbé sous l'effet d'une surpression. Cette modification de la section entraîne une augmentation du diamètre du tube de Bourdon. Un manomètre à tube de Bourdon est donc un appareil de mesure de la pression travaillant de manière indirecte, en indiquant le chemin par l'intermédiaire d'un engrenage simple et d'une aiguille.

Au cours des essais, on produit à l'aide d'une seringue en plastique des pressions sur la plage du millibar, qui s'affichent ensuite sur les manomètres. L'appareil d'essai comprend deux manomètres à tube de Bourdon pour la mesure de la surpression et de la dépression. Le manomètre à tube en U, le manomètre à tube incliné et le manomètre à tube de Bourdon de l'appareil d'essai peuvent être reliés entre eux à l'aide de flexibles. Un dispositif d'étalonnage permet, à l'aide d'un manomètre à piston chargé de poids, l'étalonnage d'un autre manomètre à tube de Bourdon.

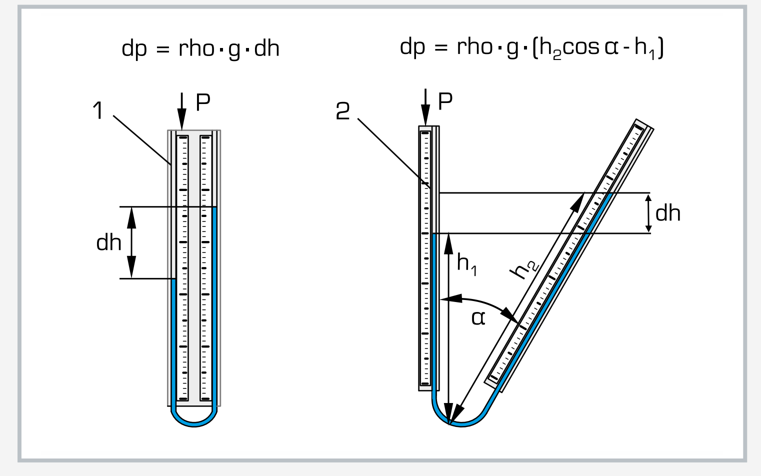
Contenu didactique/essais

- familiarisation avec 2 méthodes de mesure différentes:
  - méthode directe avec manomètre à tube en U et manomètre à tube incliné
  - méthode indirecte avec manomètre à tube de Bourdon
- mode de fonctionnement d'un manomètre à tube de Bourdon
- étalonnage des manomètres mécaniques

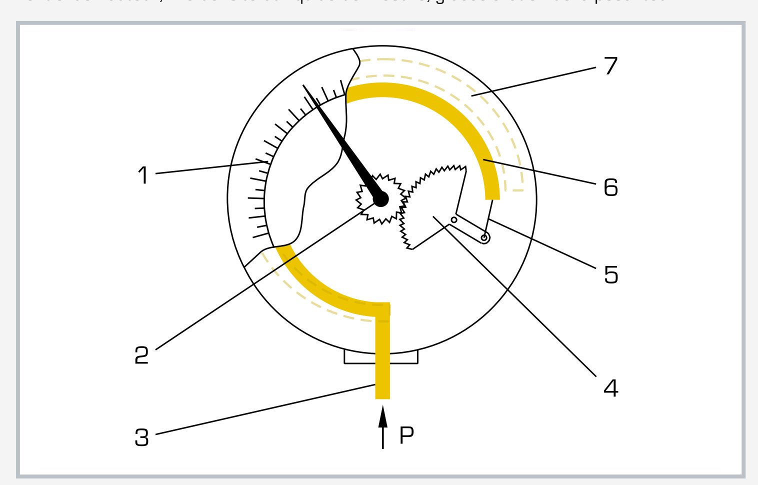
WL 203
Principes de base de la mesure de pression



1 manomètre à tube en U, 2 manomètre à tube incliné, 3 dispositif d'étalonnage avec manomètre à tube de Bourdon, 4 manomètre à tube de Bourdon pour la surpression, 5 manomètre à tube de Bourdon pour la dépression



Principe de fonctionnement des manomètres à liquides
1 manomètre à tube en U, 2 manomètre à tube incliné; dp différentiel de pression, dh différentiel de hauteur, rho densité du liquide de mesure, g accélération de la pesanteur



Principe de fonctionnement d'un manomètre à tube de Bourdon
1 échelle, 2 aiguille, 3 tube de Bourdon encastré, 4 dentelure, 5 barre de traction, 6 tube de Bourdon sans surpression, 7 tube de Bourdon étendu soumis à une surpression

Spécification

[1] essais de base de la mesure de pression avec trois appareils de mesure différents
[2] manomètre à tube en U et manomètre à tube incliné
[3] respectivement un manomètre à tube de Bourdon pour la surpression et la dépression
[4] seringue en plastique produisant des pressions d'essai sur la plage du millibar
[5] dispositif d'étalonnage avec manomètre à tube de Bourdon pour l'étalonnage de manomètres mécaniques

Caractéristiques techniques

Manomètre à tube incliné
- angle: 30°

Plages de mesure
- pression:
  - 0...±60mbar (manomètre à tube de Bourdon)
  - 0...500mmCA (manomètre à tube en U)
  - 0...500mmCA (manomètre à tube incliné)

Lxlxh: 750x610x810mm
Lxlxh: 410x410x410mm (dispositif d'étalonnage)
Poids total: env. 40kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 dispositif d'étalonnage
1 jeu de poids
1 huile, 500mL
1 encre, 30mL
1 trémie
1 seringue
1 jeu de flexibles
1 documentation didactique



WL 920
Techniques de mesure de la température



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec différents procédés de mesure de la température:
  - procédés non électriques: thermomètre à liquide, thermomètre bimétallique
  - procédés électroniques: thermocouple, thermomètre à résistance Pt100, thermistance NTC
- détermination de l'humidité de l'air avec un psychromètre
- familiarisation avec les instruments de mesure de la température
- comportement de réponse des capteurs
- comportement stationnaire et non stationnaire

Description

- **comparaison de différents procédés de mesure de la température**
- **étude du comportement stationnaire et non stationnaire de la température et de sauts de température définis**

Pour mesurer les températures, différents processus physiques sont utilisés. Les températures peuvent être lues directement, par le biais par exemple de la dilatation d'un fluide de mesure sur une échelle graduée.

Dans l'industrie, les températures sont souvent mesurées électroniquement. L'avantage des mesures électroniques est de faciliter le traitement ultérieur ou la transmission des signaux vers des points distants (régulateurs, affichages externes).

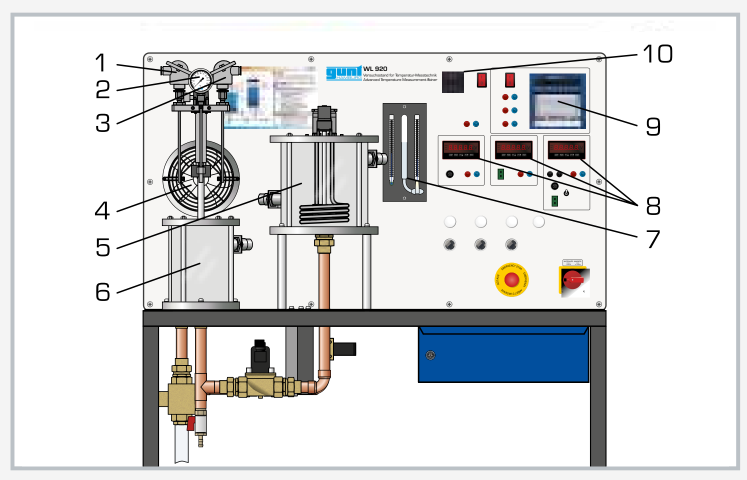
Le banc d'essai WL 920 permet d'appliquer et comparer différents procédés de mesure de la température. La liste de livraison comprend un thermomètre à liquide, un thermomètre bimétallique, ainsi qu'un thermocouple pour la mesure électronique de la température, un thermomètre à résistance Pt100 et une thermistance NTC, tous bien protégés dans des étuis. Un psychromètre muni de deux thermomètres à liquide sert à mesurer l'humidité relative de l'air.

Pour comparer les différents procédés de mesure, les capteurs de température à étudier sont fixés à un dispositif réglable en hauteur, au-dessus du réservoir d'essai. Un ventilateur assure des conditions ambiantes pratiquement constantes. Un second réservoir avec dispositif de chauffage à commande électronique fournit de l'eau à une température de 80°C max. L'eau chauffée à la température de consigne est acheminée dans le réservoir d'essai.

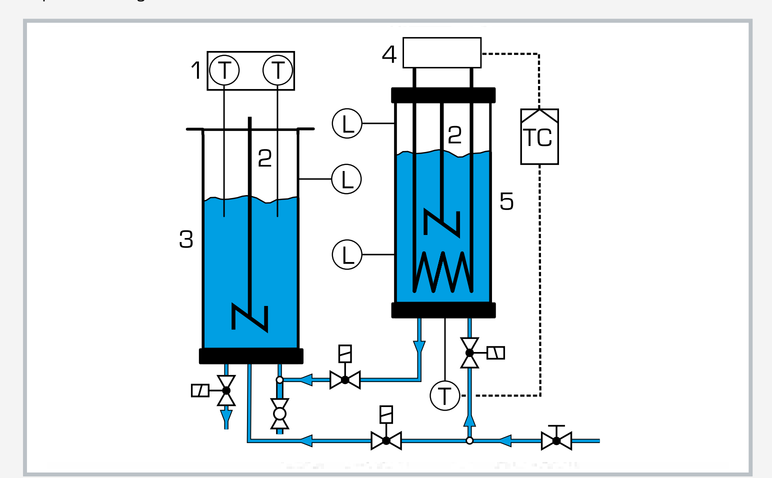
En abaissant le dispositif réglable en hauteur, les capteurs de température sont immergés dans l'eau, et la mesure de température démarre.

Les valeurs de mesure peuvent être lues de manière analogique ou numérique. Un enregistreur à tracé continu à trois voies permet d'enregistrer les valeurs de mesure des capteurs de température électroniques en continu, et donc de documenter également l'évolution du comportement dans le temps. Il est possible d'étudier les sauts de température définis, ainsi que le comportement stationnaire et non stationnaire de la température.

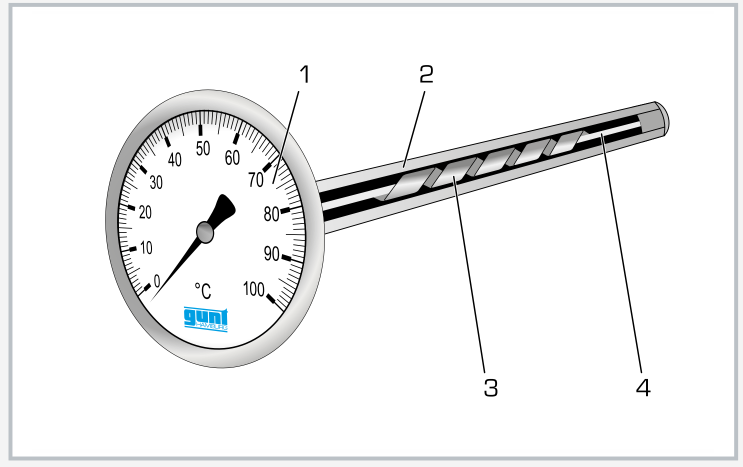
WL 920
Techniques de mesure de la température



1 thermomètre à résistance Pt100, 2 thermomètre bimétallique, 3 thermocouple, 4 ventilateur, 5 réservoir de chauffage, 6 réservoir d'essai, 7 psychromètre, 8 affichages numériques, 9 enregistreur à tracé continu à 3 voies



1 capteurs de température à étudier, 2 agitateur, 3 réservoir d'essai, 4 dispositif de chauffage, 5 réservoir de chauffage; T température, L niveau, TC régulateur de température, bleu: eau



Construction du thermomètre bimétallique
1 boîtier gradué, 2 tube de protection, 3 bande bimétallique, 4 palier fixe

Spécification

[1] mesure stationnaire et non stationnaire de la température avec des appareils de mesure typiques
[2] capteurs de température: thermomètre à liquide, thermomètre bimétallique, Pt100, thermistance (NTC), thermocouple de type K
[3] psychromètre pour la détermination de l'humidité relative de l'air
[4] sauts de température définis jusqu'à 80°C
[5] réservoir d'essai et réservoir de chauffage avec régulation de température, remplis d'eau
[6] les deux réservoirs sont équipés d'un agitateur
[7] le ventilateur génère une température de l'air constante au-dessus du réservoir d'essai
[8] enregistreur à tracé continu à 3 voies pour l'enregistrement des valeurs de mesure

Caractéristiques techniques

Dispositif de chauffage
- puissance: 2kW à 230V, 1,5kW à 120V
- quantité de remplissage du réservoir: 4L

Régulateur de température
- PID

Enregistreur à tracé continu
- 3 canaux
- interface sérielle

Capteurs de température
- thermomètre à liquide avec liquide organique
- thermomètre bimétallique
- psychromètre
- thermocouple de type K
- thermistance (NTC)
- Pt100

Plages de mesure
- température: 0...100°C
- humidité rel.: 3...96%

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
Lxlxh: 1200x700x1550mm
Poids: env. 185kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



Connaissances de base

Transport de chaleur lié et non lié à la matière

Transport de chaleur lié à la matière

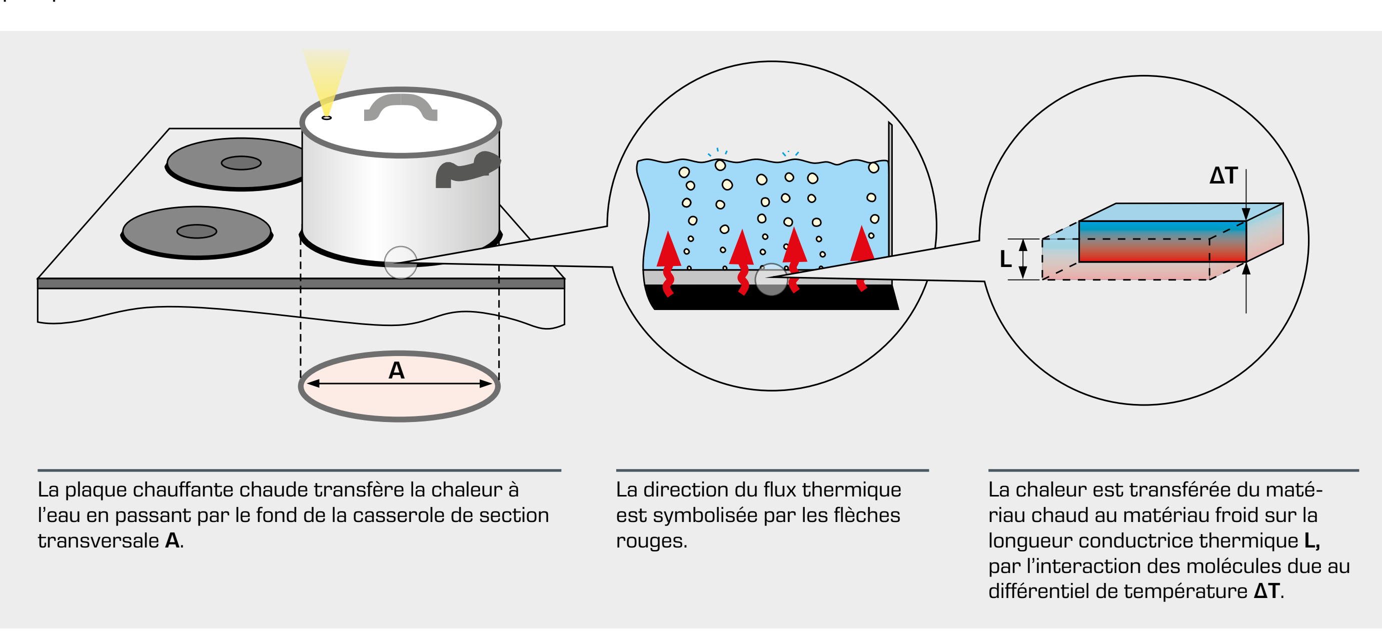
par conduction et convection

Conduction

Lors de la conduction thermique, le transport de chaleur s'effectue par une interaction directe des molécules (p.ex. chocs des molécules), à l'intérieur d'une matière solide ou d'un fluide au repos. Mais pour que cela se produise, il faut que l'on ait une différence de température à l'intérieur de la matière, ou bien que des matières présentant des températures différentes soient en contact direct les unes avec les autres. Tous les états physiques permettent ce mécanisme de transfert.

La quantité de chaleur transportée dépend:

- de la conductivité thermique **λ** du matériau,
- de la longueur conductrice thermique **L**,
- de la surface de transfert thermique **A**,
- de la durée d'action **t** et
- du différentiel de température **ΔT** entre le début et la fin du conducteur thermique



La plaque chauffante chaude transfère la chaleur à l'eau en passant par le fond de la casserole de section transversale **A**.

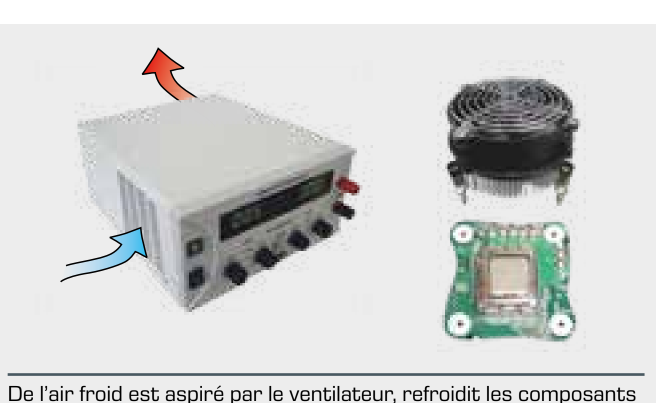
La direction du flux thermique est symbolisée par les flèches rouges.

La chaleur est transférée du matériau chaud au matériau froid sur la longueur conductrice thermique **L,** par l'interaction des molécules due au différentiel de température **ΔT**.

Convection

Ici, le transport de chaleur dans des liquides en écoulement ou des gaz a lieu sous l'effet d'un mouvement, et donc d'un transport de la matière. Dans le cas de la **convection forcée**, l'écoulement est provoqué par des forces extérieures. Exemples: pompe de chauffe-eau, ventilateur d'un bloc d'alimentation ou d'un PC.

Si l'écoulement est provoqué par des différences de densité liées à des températures différentes à l'intérieur du fluide, on parle de **convection libre** ou **naturelle**. Exemples: mouvement de l'eau lors de la chauffe d'une casserole, vent chaud, Gulf Stream, conduit d'évacuation d'une cheminée.



De l'air froid est aspiré par le ventilateur, refroidit les composants internes et ressort sous forme d'air chaud.

Les molécules d'air chauffées par le chauffage montent sous l'effet des différences de densité.

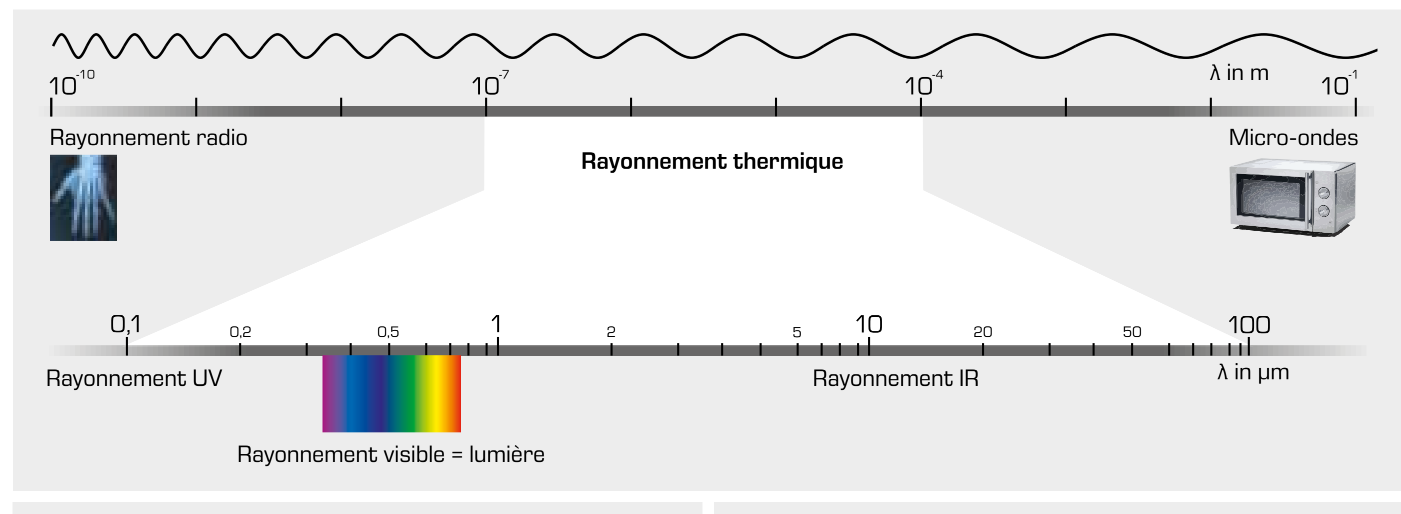
Transport de chaleur non lié à la matière

par rayonnement

Rayonnement thermique

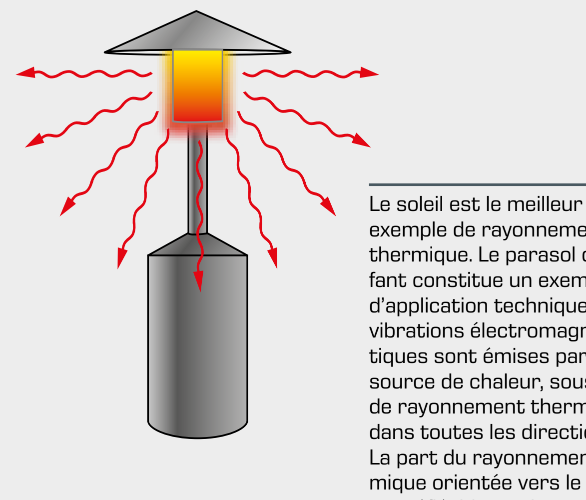
Transport d'énergie sous l'effet de vibrations électromagnétiques sur une plage de longueurs d'onde définie. Tout corps dont la température est supérieure à zéro Kelvin émet un rayonnement connu sous le nom de rayonnement de température, ou rayonnement thermique.

Le rayonnement thermique comprend le rayonnement UV, le rayonnement lumineux et le rayonnement infrarouge. Le rayonnement lumineux couvre la plage de longueurs d'onde visible par l'œil humain.





Le rayonnement thermique peut être rendu visible en utilisant une caméra à infrarouge: ladite caméra convertit en effet le rayonnement infrarouge à ondes longues en rayonnement visible.



Le soleil est le meilleur exemple de rayonnement thermique. Le parasol chauffant constitue un exemple d'application technique: des vibrations électromagnétiques sont émises par la source de chaleur, sous forme de rayonnement thermique, dans toutes les directions. La part du rayonnement thermique orientée vers le haut est réfléchie par le parasol.

Chiffres clés des matériaux

Coefficient de transfert de chaleur α: mesure la quantité de chaleur transférée d'une matière solide à un fluide, ou inversement (écoulement de chaleur)

Conductivité thermique λ: mesure la qualité du transfert ou de la transmission de chaleur dans une matière solide (conduction thermique)

Coefficient global de transfert de chaleur k: décrit le transfert de chaleur global entre des fluides séparés par des corps solides (écoulement de chaleur et conduction thermique)

Réflectance, degré d'absorption et degré de transmission: mesurent la proportion du rayonnement thermique arrivant sur un corps, proportion qui est réfléchie, absorbée ou transmise (rayonnement thermique)

WL 362
Transfert d'énergie par rayonnement



Description

- **étude du rayonnement thermique et du rayonnement lumineux**
- **influence de la distance et de l'angle d'incidence**
- **spectre d'essais étendu**

Le rayonnement thermique est un transport d'énergie sous l'effet de vibrations électromagnétiques sur une plage de longueurs d'onde définie. Tout corps dont la température est supérieure à zéro Kelvin émet un rayonnement connu sous le nom de rayonnement de température, ou rayonnement thermique. Le rayonnement thermique comprend le rayonnement UV, le rayonnement lumineux et le rayonnement infrarouge. Le rayonnement lumineux couvre la plage de longueurs d'onde visible par l'œil humain.

L'appareil d'essai WL 362 est équipé de deux sources de rayonnement: un radiateur thermique et un émetteur de lumière. Le rayonnement thermique est détecté à l'aide d'une thermopile. Le rayonnement lumineux est enregistré au moyen d'un luxmètre avec photodiode. Différents éléments optiques, tels que des diaphragmes, des plaques d'absorption ou des filtres de couleur, peuvent être installés entre l'émetteur et le détecteur. Tous les composants sont montés sur un banc optique.

La distance entre les éléments optiques est mesurée sur une échelle le long du banc optique.

Le luxmètre, la thermopile et l'émetteur de lumière peuvent être tournés pour étudier l'influence de l'angle d'incidence sur l'intensité du rayonnement. Les angles sont lus sur des échelles d'angle.

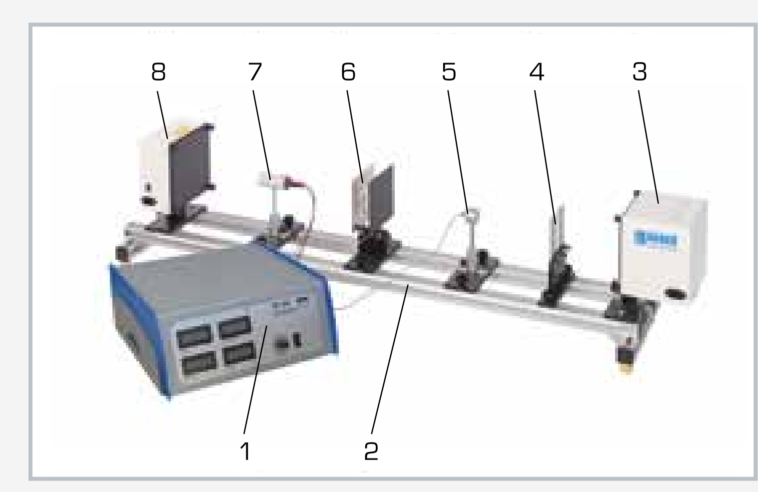
Les éléments optiques peuvent être utilisés pour étudier la réflexion, l'absorption et la transmission de différents matériaux, à différentes longueurs d'onde et températures. La puissance de rayonnement de chacun des deux émetteurs est ajustable. Le but de ces essais est de vérifier les lois de l'optique: p.ex. la loi du rayonnement de Kirchhoff, la loi de Stefan-Boltzmann, la loi de Lambert sur la distance, la loi de la direction de Lambert.

Les valeurs de mesure sont affichées numériquement sur l'amplificateur de mesure. Les valeurs de mesure peuvent être transmises simultanément via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel fourni.

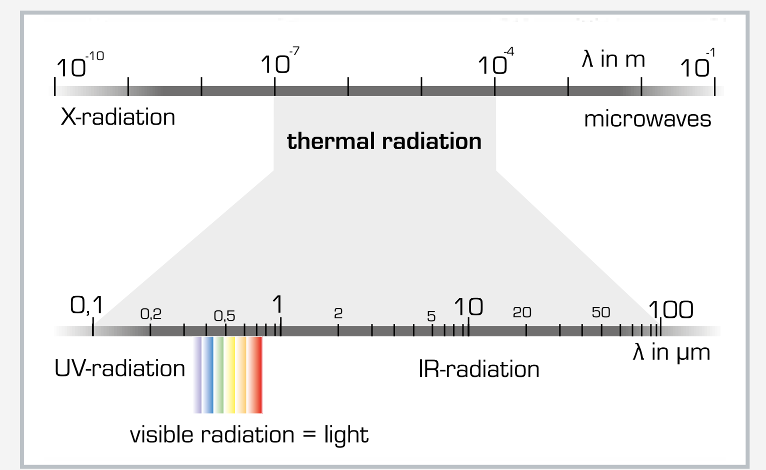
Contenu didactique/essais

- loi de la direction de Lambert
- loi de Lambert sur la distance
- loi de Stefan-Boltzmann
- lois de Kirchhoff
  - absorption de rayonnement
  - réflexion de rayonnement
  - émission de rayonnement

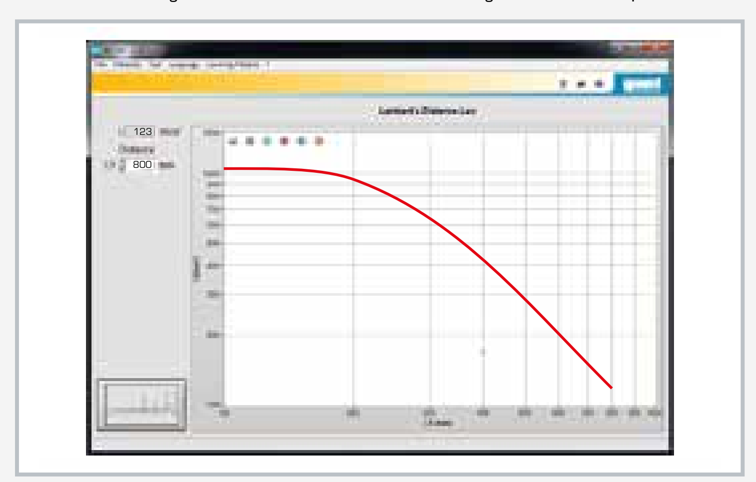
WL 362
Transfert d'énergie par rayonnement



1 amplificateur de mesure, 2 banc optique avec échelle pour lire les distances, 3 source de lumière orientable, 4 support pour diaphragme à fente (rouge, vert, infrarouge), 5 luxmètre, 6 plaque d'absorption et plaque de réflexion, chacune avec point de mesure de la température, 7 thermopile, 8 radiateur thermique



Spectre du rayonnement thermique (thermal radiation)
échelle du haut, longueur d'onde λ en m, échelle du bas, longueur d'onde λ en µm



Capture d'écran du logiciel: études sur la distance de la source de rayonnement

Spécification

[1] radiateur thermique et thermopile pour l'étude du rayonnement thermique
[2] source de lumière et luxmètre pour l'étude de l'éclairement
[3] plaque d'absorption et plaque de réflexion équipées de thermocouples pour l'étude des lois de Kirchhoff
[4] puissance de rayonnement du radiateur thermique et de la source de lumière ajustable
[5] 3 filtres colorés avec support (rouge, vert, infrarouge), diaphragme à fente
[6] luxmètre pour la mesure de l'éclairement
[7] thermocouples pour la mesure de la température
[8] thermopile pour la mesure de la puissance de rayonnement
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Radiateur thermique
- matériau: $AlMg_3$, noir anodisé
- puissance: 400W à 230V, 340W à 120V
- température max. possible: 300°C
- surface de rayonnement, Lxl: 200x200mm

Source de lumière
- lampe halogène
  - puissance: 42W
  - courant d'éclairage: 630lm
  - température de couleur: 2900K
- plage de rotation des deux côtés: 0...90°
- surface lumineuse au choix
  - diffuseur, Lxl: 193x193mm ou
  - diaphragme à trou, Ø 25mm

Éléments optiques insérables
- diaphragme à fente
- 3 filtres colorés: rouge, vert, infrarouge
- plaque d'absorption et plaque de réflexion avec thermocouple de type K, vernis noir mat

Plages de mesure
- éclairement: 0...1000 Lux
- température: 2x 0...200°C
- puissance de rayonnement: 0...1000W/m²

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1460x310x390mm
Lxlxh: 420x400x170mm (amplificateur de mesure)
Poids: env. 27kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 372
Conduction thermique radiale et linéaire



Description

- **étude de la conduction thermique dans les corps solides**
- **conduction thermique linéaire et radiale**
- **logiciel GUNT pour la représentation des profils de température**

La conduction thermique fait partie des trois types principaux de transfert de chaleur. L'énergie cinétique est transférée entre des atomes ou des molécules voisines. Le transfert de chaleur est lié au déplacement de la matière. Ce type de transfert de chaleur est un procédé irréversible et transporte la chaleur du niveau d'énergie élevé, et donc ayant une température absolue élevée, vers le niveau plus bas avec une température plus basse. Dans le cas où le transfert de chaleur est maintenu en permanence par une alimentation en chaleur, on parle de conduction thermique stationnaire. On trouve l'application technique la plus répandue de la conduction thermique dans les échangeurs de chaleur.

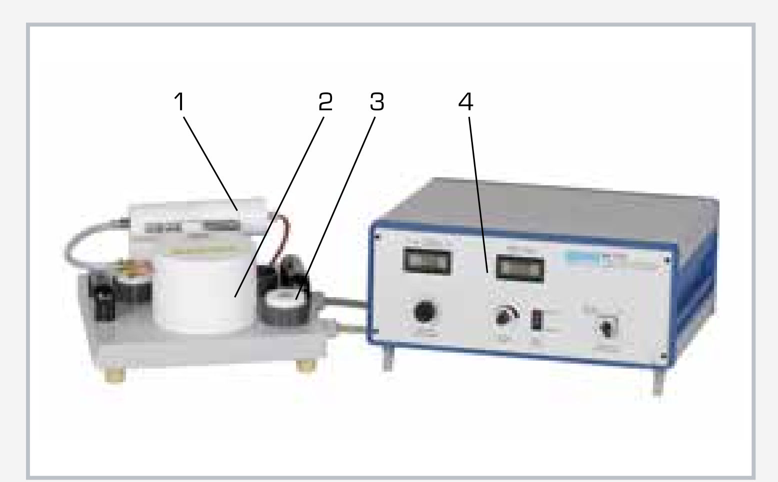
L'appareil d'essai WL 372 permet d'établir de manière expérimentale les lois et grandeurs caractéristiques de la conduction thermique dans les corps solides. L'appareil d'essai comprend un montage expérimental linéaire et un montage expérimental radial, qui sont tous deux équipés d'un élément chauffant et d'un élément réfrigérant. Dans le montage expérimental sur la conduction thermique linéaire, il est possible d'intégrer divers objets de mesure ayant différentes propriétés de transfert de chaleur. L'appareil d'essai est livré avec un appareil d'affichage et de commande.

Des capteurs enregistrent les températures à tous les points pertinents. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

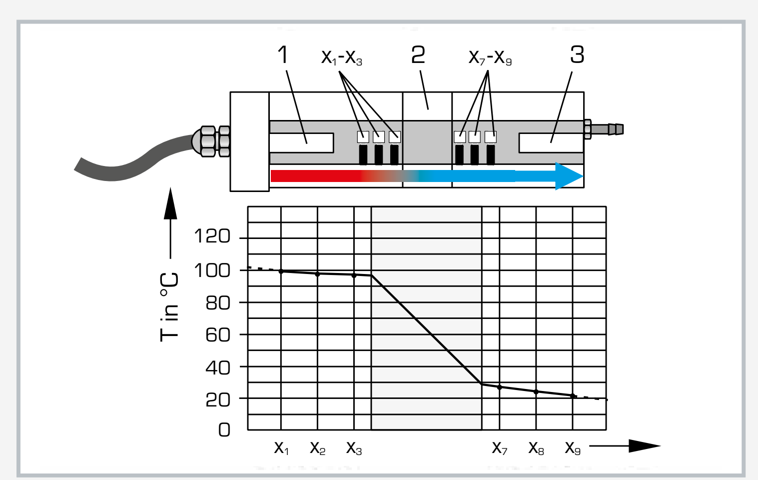
Contenu didactique/essais

- conduction thermique linéaire (paroi plane)
  - détermination des profils de température sur différents matériaux
  - détermination du profil de température en cas de perturbation
  - détermination de la conductivité thermique k
- conduction thermique radiale
  - détermination du profil de température
  - détermination de la conductivité thermique k

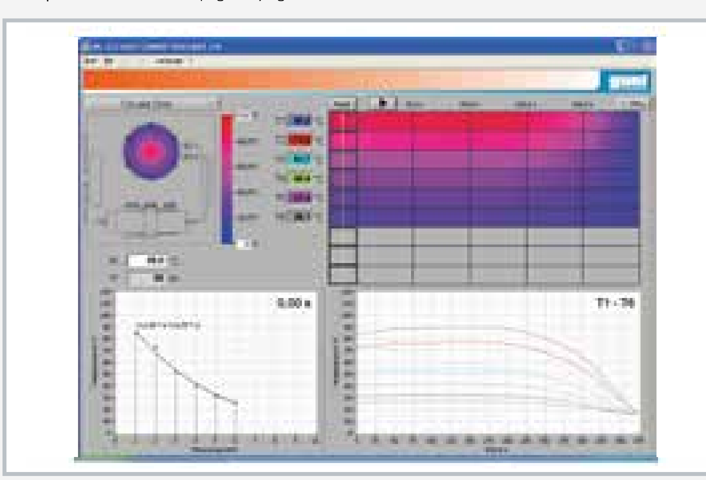
WL 372
Conduction thermique radiale et linéaire



1 montage expérimental pour la conduction thermique linéaire, 2 montage expérimental pour la conduction thermique radiale, 3 objet de mesure, 4 appareil d'affichage et de commande



Montage expérimental sur la conduction thermique linéaire avec représentation graphique du profil de température: 1 dispositif de chauffage, 2 objet de mesure, 3 élément réfrigérant; points de mesure x_1-x_3 et x_7-x_9



Capture d'écran du logiciel: profil de température pour la conduction thermique radiale

Spécification

[1] étude de la conduction thermique dans les corps solides
[2] montage expérimental composé de l'appareil d'essai et de l'appareil d'affichage et de commande
[3] conduction thermique linéaire: 3 objets de mesure, éléments chauffant et réfrigérant, 9 points de mesure de la température
[4] conduction thermique radiale: rondelle en laiton avec éléments chauffant et réfrigérant, 6 points de mesure de la température
[5] refroidissement par eau du robinet
[6] élément chauffant électrique
[7] représentation des profils de température avec le logiciel GUNT
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Conduction thermique linéaire
- 3 éléments de montage, isolés
- 1x DxL: 25x30mm, acier
- 1x DxL: 15x30mm, laiton
- 1x DxL: 25x30mm, laiton
- dispositif de chauffage: 140W

Conduction thermique radiale
- disque DxL: 110x4mm
- dispositif de chauffage dans le centre du disque: 125W
- serpentin de refroidissement au diamètre extérieur du disque

Plages de mesure
- température: 0...100°C
- puissance: 0...200W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 400x360x210mm (appareil d'essai)
Lxlxh: 470x380x210mm (appareil d'affichage et de commande)
Poids total: env. 22kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 appareil d'affichage et de commande
1 jeu d'objets pour la mesure
1 jeu de flexibles
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 376

Conductivité thermique dans les matériaux de construction



Contenu didactique/essais

- détermination de la conductivité thermique k de différents matériaux
- détermination de la résistance thermique
- conductivité thermique k sur un montage en série de plusieurs éprouvettes (jusqu'à une épaisseur de 50mm)

Description

- **conduction thermique dans des matériaux non métalliques**
- **épaisseurs ou associations de matériaux jusqu'à une épaisseur de 50mm disponibles**

L'isolation thermique dans la planification des bâtiments est un sous-domaine de la physique du bâtiment qui permet d'avoir, toute l'année, un climat ambiant confortable avec une faible consommation d'énergie, et ce en mettant en œuvre des mesures appropriées, concernant par exemple la construction des composants. On y parvient en utilisant des matériaux présentant une résistance thermique élevée, et une transmission faible du rayonnement thermique.

Le WL 376 permet d'étudier la conductivité thermique de différents matériaux non métalliques, telle que définie par la DIN 52612. La liste de livraison comprend des éprouvettes en différents matériaux: panneaux isolants en Armaflex, carton gris, PMMA, polystyrène, PS, POM, liège et plâtre. Les éprouvettes ont toutes les mêmes dimensions et sont placées entre une plaque chauffée et une plaque refroidie par eau. Un dispositif de blocage assure une pression de contact reproductible et, également le contact thermique.

La plaque chaude est chauffée par une natte électrique chauffante. La température de la plaque froide est, quant à elle, atteinte au moyen d'un refroidissement par eau. Des capteurs mesurent les températures à l'entrée et à la sortie de l'eau de refroidissement, ainsi qu'au centre des deux plaques.

Le logiciel fourni permet d'ajuster les températures de la plaque chaude au-dessus de l'éprouvette et de la plaque froide sous l'éprouvette. La régulation de température assure des températures constantes.

Le flux thermique qui traverse l'éprouvette entre la plaque chaude et la plaque froide est mesuré avec un capteur spécial de flux thermique. L'ensemble du boîtier, y compris le couvercle est isolé thermiquement afin de garantir des conditions ambiantes constantes.

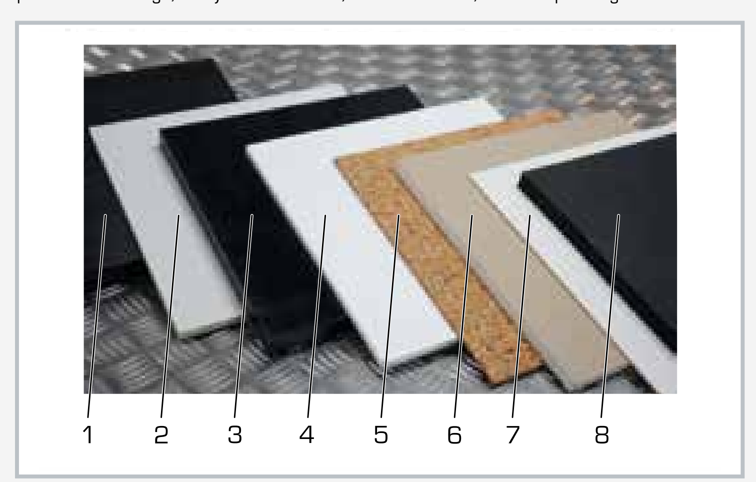
Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

WL 376

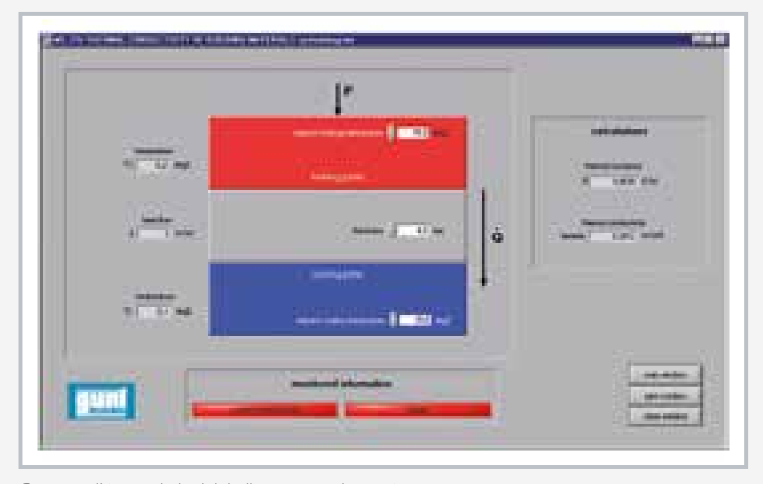
Conductivité thermique dans les matériaux de construction



1 isolation de la plaque chaude, 2 plaque chaude, 3 éprouvette, ici carton gris (plaque froide non visible), 4 couvercle du boîtier isolant, 5 interrupteur principal et commutateur du dispositif de chauffage, 6 voyant de contrôle, 7 boîtier isolant, 8 axe de pressage



Matériaux d'isolation compris dans la liste de livraison:
1 Armaflex, 2 PMMA (polyméthacrylate de méthyle), 3 POM (polyoxyméthylène), 4 polystyrène, 5 liège, 6 plâtre, 7 carton gris, 8 PS (polystyrène)



Capture d'écran du logiciel: diagramme du système

Spécification

[1] détermination de la conductivité thermique k de matériaux
[2] conductivité thermique k et mesure de la résistance thermique selon la DIN 52612
[3] pression de contact reproductible assurée par un dispositif de serrage
[4] 8 éprouvettes à placer entre la plaque chaude et la plaque froide
[5] plaque chaude avec natte chauffante
[6] plaque froide avec refroidissement par eau et capteur de flux thermique
[7] régulateur logiciel pour l'ajustage de la température de la plaque chaude et de la plaque froide
[8] 3 capteurs de température pour l'eau de refroidissement: à l'entrée, à la sortie et au centre de la plaque
[9] 2 capteurs de température pour la température de surface de la plaque chaude et de la plaque froide
[10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Natte électrique chauffante
- puissance: 500W
- température max.: 80°C

Éprouvettes
- LxI: 300x300mm
- épaisseur: jusqu'à max. 50mm
- matériau: Armaflex, carton gris, PMMA, polystyrène, PS, POM, liège, plâtre

Plages de mesure
- température: 3x 0...100°C, 2x 0...200°C
- densité du flux thermique: 0...1533W/m^2

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 710x440x550mm
Lxlxh: 710x440x200mm (appareil de commande)
Poids total: env. 90kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 377
Convection et rayonnement



Description

■ **transfert de chaleur entre l'élément chauffant et la paroi du réservoir par convection et rayonnement**

Durant le transport de chaleur réel entre deux corps, le transfert de chaleur, a lieu en règle générale, à la fois par le biais de la convection ou de la conduction thermique, et par le transport non lié à la matière, donc le rayonnement. Il est difficile de déterminer les différentes quantités de chaleur d'un type de transfert.

Le banc d'essai WL 377 permet de distinguer les différentes quantités de chaleur liées à chaque type de transfert. Un cylindre en métal situé dans un réservoir sous pression en constitue l'élément principal. La température de surface du cylindre en métal chauffé est régulée. Des capteurs de température mesurent la température de surface du cylindre en métal et la température de la paroi du réservoir sous pression. Il est ainsi possible d'étudier, en plus de la puissance de chauffe du cylindre en métal, le transport de chaleur du cylindre en métal vers la paroi du réservoir sous pression. Le réservoir sous pression peut être mis sous vide ou en surpression.

Dans le vide, le transport de chaleur a lieu essentiellement par le biais du rayonnement. Lorsque le réservoir est rempli de gaz et est en surpression, la chaleur est en plus transférée par convection. Il est possible de comparer le transfert de chaleur dans différents gaz. En dehors de l'air, on peut utiliser par exemple de l'azote, de l'hélium ou du dioxyde de carbone.

Le transport de chaleur par conduction thermique est pratiquement éliminé grâce à une suspension adéquate du cylindre en métal.

Une pompe à palettes produit des dépressions pouvant aller jusqu'à env. 0,02mbar. Une surpression pouvant atteindre 1bar peut être obtenue avec de l'air comprimé. Deux capteurs de pression ayant les plages de mesures adéquates sont à disposition pour la mesure de la pression: la dépression est enregistrée avec un capteur Pirani, et la surpression avec un capteur piézorésistif.

Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel GUNT fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

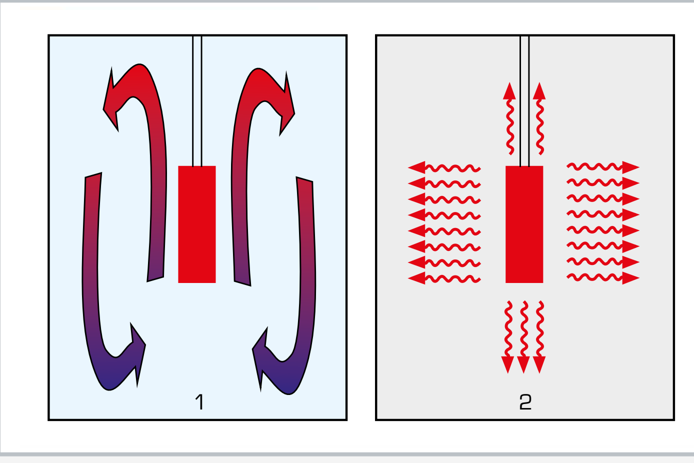
Contenu didactique/essais

- essais dans le vide
  - transfert de chaleur par rayonnement
  - détermination du coefficient de rayonnement
- essais à la pression ambiante et en surpression
  - transfert de chaleur par convection et rayonnement
  - détermination de la quantité de chaleur transférée par convection
  - détermination du coefficient de transfert de chaleur à partir des valeurs de mesure
  - détermination théorique du coefficient de transfert de chaleur en utilisant le nombre de Nusselt
  - comparaison du transfert de chaleur dans différents gaz

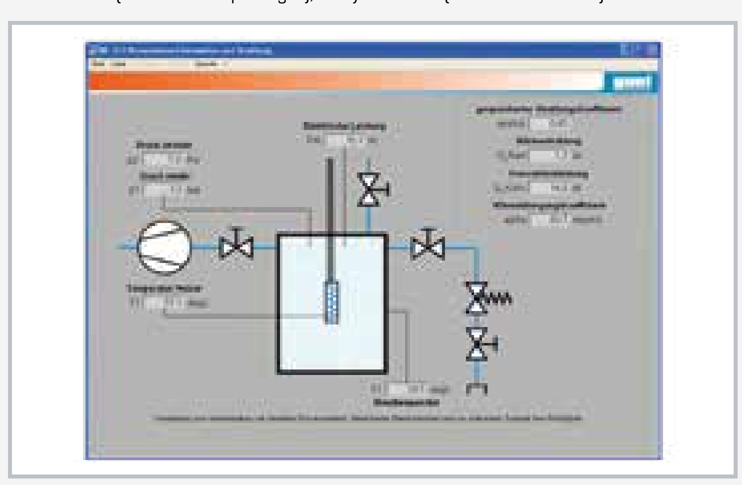
WL 377
Convection et rayonnement



1 régulateur de température avec affichage de température, 2 affichage de température, 3 affichage de puissance, 4 pompe à vide, 5 réservoir sous pression, 6 affichage de pression (pression absolue dans le réservoir), 7 affichage de pression (pression relative dans le réservoir)



Transfert de chaleur dans le réservoir:
1 convection (réservoir rempli de gaz), 2 rayonnement (réservoir avec vide)



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] transfert de chaleur entre le cylindre en métal chauffé et la paroi du réservoir par convection et rayonnement
[2] utilisation possible avec différents gaz
[3] essais sous vide ou avec une légère surpression
[4] cylindre en métal chauffé électriquement dans le réservoir sous pression comme réservoir d'essai
[5] élément chauffant avec température régulée
[6] production de vide avec une pompe à palettes
[7] instrumentation: capteur de température sur le cylindre en métal, capteur de puissance sur l'élément chauffant, capteur de pression Pirani, capteur de pression piézorésistif
[8] affichages numériques de la température, de la pression et de la puissance de chauffe
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Élément chauffant
- puissance: 20W
- surface de rayonnement: env. 61cm^2

Réservoir sous pression
- pression: -1...1,5bar
- volume: 11L

Pompe de production du vide
- puissance absorbée: 250W
- capacité d'aspiration nominale: 5m^3/h
- pression finale avec ballast de gaz: 3*10^{-3}mbar
- pression finale sans ballast de gaz: 3*10^{-3}mbar

Plages de mesure
- dépression: 0,5*10^{-3}...1000mbar
- pression: -1...1,5bar rel.
- température: 0...250°C
- puissance: 0...23W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1340x790x1500mm
Poids: env. 160kg

Nécessaire pour le fonctionnement

air comprimé: min. 1,5bar
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

GUNT-Thermoline
Principes de base du transfert de chaleur

Concept didactique global pour l'enseignement des principes de base du transfert de chaleur.
- mesures précises
- commande logicielle
- logiciel d'apprentissage

WL 420 Conduction thermique dans des métaux

WL 430 Conduction thermique et convection

WL 460 Transfert de chaleur par rayonnement

WL 422 Conduction thermique dans des fluides

WL 440 Convection libre et forcée

Connexion USB

Un ordinateur pour la commande et l'utilisation de l'appareil d'essai

Connexion LAN/WLAN

1 2 3 ...

...autant de postes de travail que l'on veut équipés du logiciel GUNT, avec une seule licence

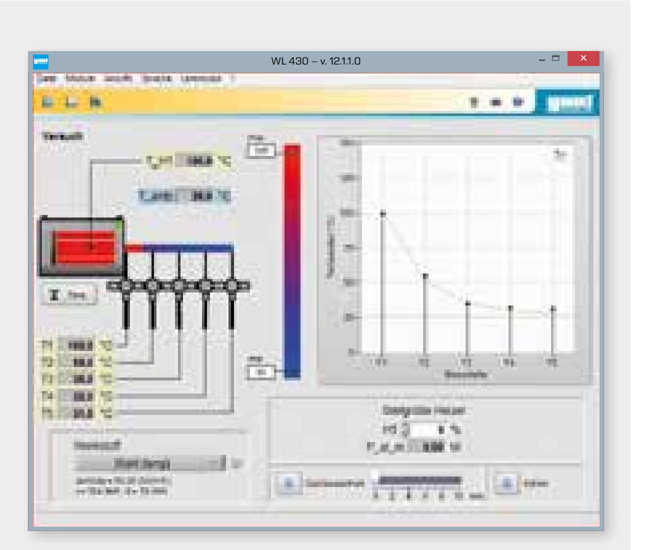
Capacité de mise en réseau

- accès intégral par le réseau aux essais en cours à partir d'un nombre indéterminé de postes de travail externes
- les essais peuvent être suivis et évalués de manière autonome par les étudiants sur tous les postes de travail, et ce en utilisant un seul système didactique

Commande et acquisition de données

Commande

- commande facile du système par le biais du logiciel
- réglage des paramètres de fonctionnement via les icônes correspondantes
- contrôle et lecture des valeurs de mesure



Courbe de temps

- représentation des valeurs de mesure en fonction du temps
- enregistrement et archivage de caractéristiques personnelles
- types de représentation au choix des valeurs de mesure
  - sélection des valeurs de mesure
  - définition
  - couleur
  - intervalles de temps

Courbe de température géométrique

- les représentations des courbes de température aident à comprendre les différents mécanismes du transfert de chaleur

Logiciel d'apprentissage



Cours sur les principes de base

Des contenus didactiques multimédias bien pensés sur le transfert de chaleur

Des cours thématiques détaillés

- explication sur les différentes formes de transfert de chaleur au moyen d'exemples concrets
- préparation autonome à l'utilisation des appareils

Contrôle ciblé des contenus enseignés

- suivi discret et automatique de la progression des acquis
- identification des lacunes et soutien ciblé



Pour de plus amples informations, veuillez vous référer à la brochure Thermoline.

WL 420
Conduction thermique dans des métaux



Description

- **influence de différents métaux sur la conduction thermique**
- **fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation**
- **élément de la série GUNT-Thermoline: principes de base du transfert de chaleur**

La conduction thermique fait partie des trois formes principales du transfert de chaleur. Suivant le deuxième principe de la thermodynamique, la conduction thermique se produit toujours du niveau d'énergie le plus élevé vers le plus bas. On parle de conduction thermique stationnaire lorsque, malgré un apport et une évacuation continus de chaleur, la température d'un corps ne change pas.

WL 420 offre des essais de base permettant un enseignement ciblé sur le thème de la conduction thermique à travers différents métaux. On insère pour cela un d'onze éprouvettes. L'éprouvette est chauffée dans la partie supérieure grâce à un dispositif de chauffage électrique, et elle est refroidie dans la partie inférieure par le biais d'un élément Peltier. La conduction thermique à travers chaque éprouvette se fait du haut vers le bas.

Pour étudier la conductivité thermique à travers des métaux multicouches, il est possible d'insérer deux éprouvettes en même temps dans l'appareil d'essai. Des composants adaptés de manière optimale assurent le chauffage rapide et des mesures de faible niveau de perturbation.

La température des éprouvettes de métal est enregistrée à l'aide de thermocouples au niveau des faces supérieure et inférieure.

La technique de mesure assistée par microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices. La liaison au PC est assurée par une connexion USB.

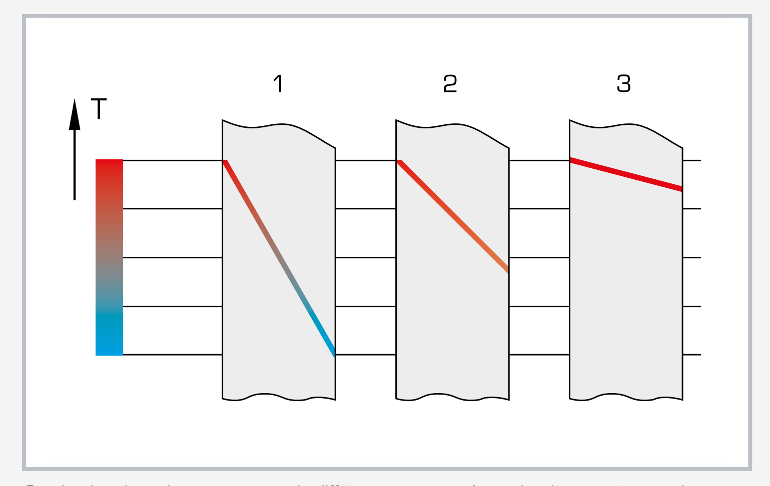
Contenu didactique/essais

- description de l'évolution avant l'atteinte de l'état stationnaire
- calcul de la conductivité thermique λ de différents métaux
- calcul de la résistance thermique de l'éprouvette
- transfert de chaleur avec différentes éprouvettes installés en série
- influence de la longueur de l'éprouvette sur le transfert de chaleur

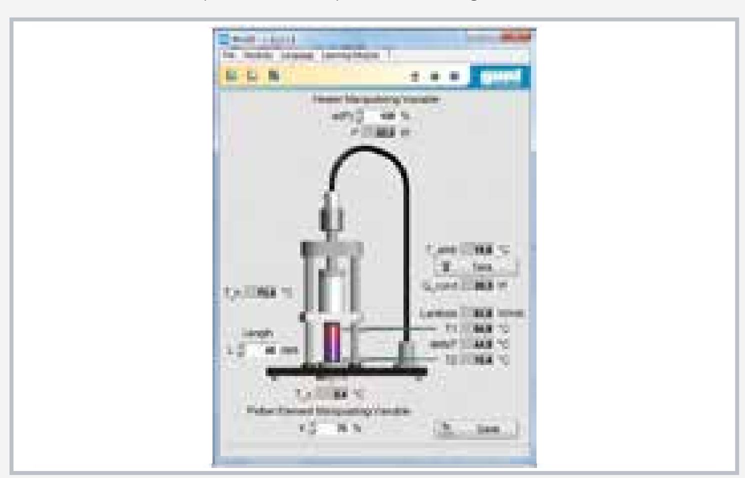
WL 420
Conduction thermique dans des métaux



1 dispositif de chauffage, 2 éprouvette, 3 rangement pour éprouvettes, 4 thermocouple; élément Peltier caché



Conduction thermique au travers de différents métaux: 1 courbe de température dans un métal avec une conductivité thermique basse, 2 courbe de température dans un métal avec une conductivité thermique moyenne, 3 courbe de température dans un métal avec une conductivité thermique haute; T température; en rouge: chaud, en bleu: froid


Interface utilisateur du logiciel performant de GUNT

Spécification

[1] étude de la conductivité thermique de différents métaux
[2] dispositif de chauffage éléctrique réglable en continu
[3] élément Peltier comme refroidisseur
[4] 11 éprouvettes de 5 métaux, de longueurs différentes
[5] affichage des températures et de la puissance absorbée dans le logiciel
[6] l'instrumentation intégrée commandée par microprocesseur signifie qu'aucun dispositif supplémentaire avec un câblage sujet aux erreurs n'est nécessaire
[7] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Élément Peltier
- puissance de refroidissement: 56,6W

Dispositif de chauffage
- puissance de chauffe: 30W
- limitation de la température: 150°C

Éprouvettes Ø 20mm
Longueur entre les points de mesure
- 5x 20mm (cuivre, acier, acier inoxydable, laiton, aluminium)
- 5x 40mm (cuivre, acier, acier inoxydable, laiton, aluminium)
- 1x 40mm avec encoche (aluminium)

Plages de mesure
- température: 4x 0...325°C
- puissance de chauffe: 0...50W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 670x350x480mm
Poids: env. 18kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'éprouvettes
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 422
Conduction thermique dans des fluides



Description

- **influence de différents fluides sur la conduction thermique**
- **fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation**
- **élément de la série GUNT-Thermoline: principes de base du transfert de chaleur**

La conduction thermique fait partie des trois formes principales du transfert de chaleur. Suivant le deuxième principe de la thermodynamique, la conduction thermique se produit toujours du niveau d'énergie le plus élevé vers celui le plus bas.

Le WL 422 offre des essais de base permettant un enseignement ciblé sur le thème de la conduction thermique dans des fluides. On aborde dans ce cadre les différences fondamentales entre la conduction thermique des gaz et celle des liquides.

Les composants principaux de l'appareil d'essai sont deux cylindres: un cylindre interne chauffé électriquement qui se trouve à l'intérieur d'un cylindre externe refroidi par eau. Les deux cylindres sont séparés par un espace annulaire concentrique.

Cet espace annulaire est rempli du liquide à étudier. La conduction thermique se fait du cylindre interne par le fluide vers le cylindre externe. L'espace annulaire étroit empêche la formation d'un écoulement convectif et permet d'avoir une surface de passage relativement étendue, tout en maintenant une distribution homogène de la température.

L'appareil d'essai est équipé de capteurs de température sur la face intérieure et sur la face extérieure de l'espace annulaire. Dans le cadre d'essais, il est possible de déterminer les conductivités thermiques k de divers fluides tels que l'eau, l'huile, l'air ou le dioxyde de carbone.

La technique de mesure assistée par microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices. La liaison au PC est assurée par une connexion USB.

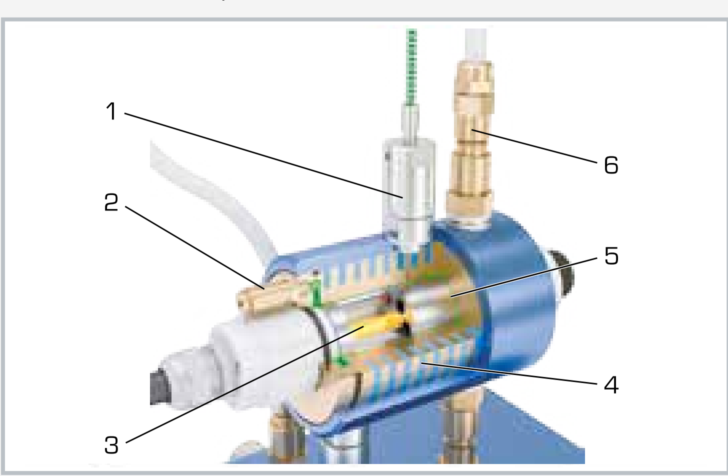
Contenu didactique/essais

- conduction thermique stationnaire dans des gaz et des liquides:
  - détermination de la résistance thermique des fluides
  - détermination des conductivités thermiques k pour des fluides différents, aux températures différentes
- conduction thermique non stationnaire dans des fluides:
  - interprétation des états non stationnaires lors du chauffage et du refroidissement
  - introduction à la conduction thermique non stationnaire avec le modèle de capacité en bloc

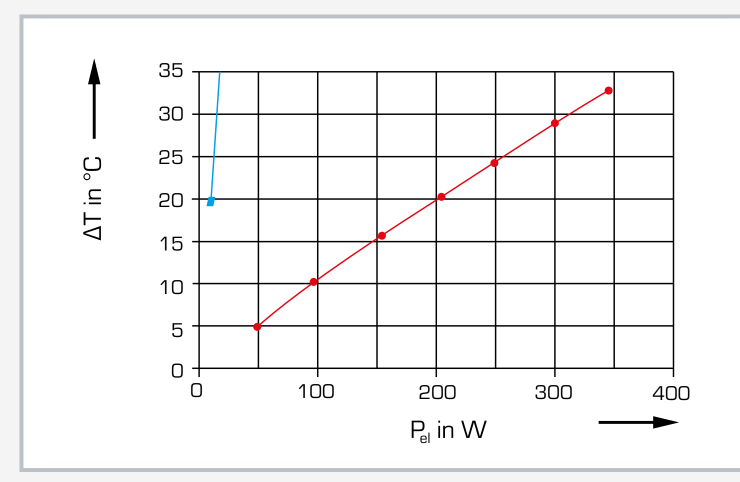
WL 422
Conduction thermique dans des fluides



1 capteur de température, 2 raccord du fluide à tester, 3 cylindre interne, 4 soupape pour eau de refroidissement, 5 cylindre externe, 6 flexible de l'eau de refroidissement



Vue en coupe du montage expérimental: 1 capteur de température, 2 raccord du fluide, 3 cylindre interne, 4 canal de refroidissement, 5 espace annulaire, 6 raccord de l'eau de refroidissement; en bleu: eau de refroidissement, en vert: fluide



Différences entre les valeurs calculées pour l'eau et pour l'air
ΔT différentiel de température, P_{el} puissance électrique; bleu: air, rouge: eau

Spécification

[1] étude de la conductivité thermique de fluides différents, p.ex. l'eau, l'huile, l'air ou le dioxyde de carbone
[2] espace annulaire concentrique entre 2 cylindres qui contient le fluide à étudier
[3] cylindre interne, chauffé électriquement en continu
[4] cylindre externe refroidi par eau
[5] affichage des températures et de la puissance de chauffe dans le logiciel
[6] l'instrumentation intégrée commandée par microprocesseur signifie qu'aucun dispositif supplémentaire avec un câblage sujet aux erreurs n'est nécessaire
[7] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Dispositif de chauffage
- puissance de chauffe: 350W
- limitation de la température: 95°C

Surface d'échange de chaleur: 0,007439m²

Espace annulaire
- hauteur: 0,4mm
- diamètre moyen: 29,6mm

Cylindre interne
- masse: 0,11kg
- capacité thermique spécifique: 890J/kg*K

Plages de mesure
- température: 2x 0...325°C
- puissance de chauffe: 0...450W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 670x350x480mm
Poids: env. 18kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau froide max. 30°C, min. 1L/h
drain
PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu de flexibles
1 jeu de flexibles avec accouplement rapide
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 430
Conduction thermique et convection



Description

■ **influence de la conduction thermique et de la convection sur le transfert de chaleur**
■ **essais avec de l'air au repos sur convection libre**
■ **fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation**
■ **élément de la série GUNT-Thermoline: principes de base du transfert de chaleur**

La conduction thermique et la convection font partie des trois formes principales du transfert de chaleur, et se produisent souvent en même temps.

Le WL 430 permet de réaliser des essais de base sur les deux formes du transfert de chaleur: conduction thermique et convection.

Différentes éprouvettes de métal constituent le cœur de l'appareil. Une des éprouvettes est posée sur un dispositif de chauffage et chauffée sur un côté. La chaleur est guidée à travers l'éprouvette avant d'être dégagée vers l'environnement. L'éprouvette insérée se comporte comme un anneau de refroidissement. On trouve également six ventilateurs sur la face inférieure de l'éprouvette. Pour influencer le transfert de chaleur convectif, le débit d'air des ventilateurs est réglable en continu. L'écoulement d'air est guidé de manière homogène autour de l'éprouvette. Il est ainsi possible, en plus de l'essai avec de l'air au repos (convection libre), de réaliser des essais avec de l'air en écoulement (convection forcée). L'influence des différents matériaux sur la conduction thermique est mise en évidence par la comparaison entre différentes éprouvettes.

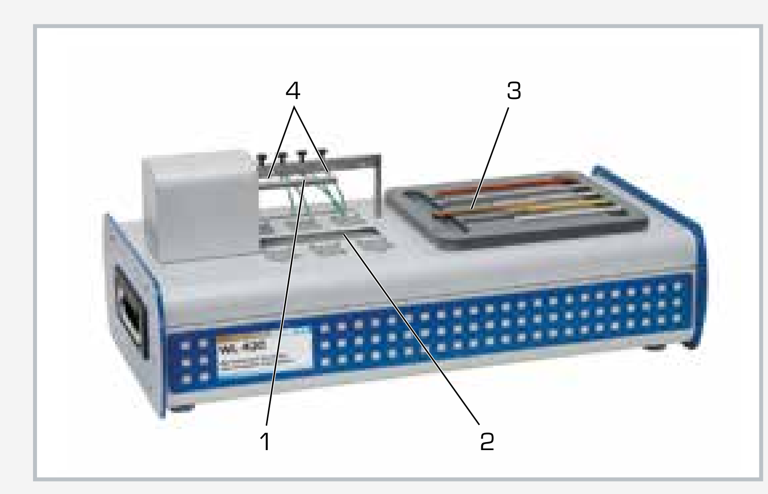
L'appareil d'essai est équipé de cinq capteurs de température. La puissance de chauffe et la vitesse de l'écoulement d'air sont ajustées et affichées par l'intermédiaire du logiciel.

La technique de mesure assistée par microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices. La liaison au PC est assurée par une connexion USB.

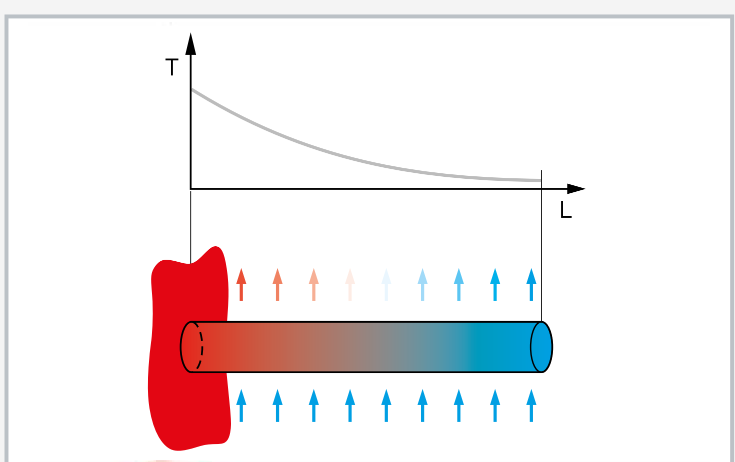
Contenu didactique/essais

■ influence de la conduction thermique et de la convection sur le transfert de chaleur
■ influence de la convection libre et de la convection forcée sur le transfert de chaleur
■ calcul des transferts de chaleur convectifs
■ influence des différents matériaux sur la conduction
■ influence de la longueur de l'echantillon sur le transfert de chaleur

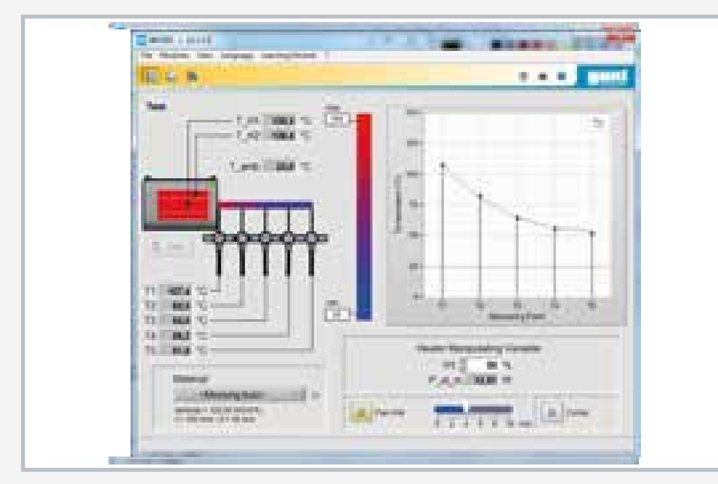
WL 430
Conduction thermique et convection



1 éprouvette, 2 bouche de ventilation, 3 rangement pour éprouvettes, 4 thermocouple



Évolution de la température le long d'une éprouvette: en rouge: chaud, en bleu: froid; T température, L longueur de l'éprouvette; flèches: l'écoulement d'air



Interface utilisateur du logiciel performant de GUNT

Spécification

[1] étude de la conduction thermique et de la convection en prenant un anneau de refroidissement comme exemple
[2] anneau de refroidissement: éprouvette en métal chauffée d'un seul côté
[3] 6 éprouvettes de différents matériaux et de différentes longueurs
[4] 6 ventilateurs pour des essais avec convection forcée
[5] puissances de chauffe et de ventilation réglables en continu
[6] affichage des températures, de la puissance de chauffe et de la vitesse de l'écoulement d'air dans le logiciel
[7] l'instrumentation intégrée à microprocesseur évite la câblage supplémentaire
[8] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Dispositif de chauffage
■ puissance de chauffe: 30W
■ limitation de la température: 160°C
6x ventilateurs
■ débit max.: 40m^3/h
■ vitesse de rotation nominale: 14400min^{-1}
■ puissance absorbée: 7,9W
4x éprouvettes, courtes
■ longueur qui dégage de la chaleur: 104mm
■ surface d'échange de chaleur: 32,6cm^2
■ cuivre, aluminium, laiton, acier
2x éprouvettes, longues
■ longueur qui dégage de la chaleur: 154mm
■ surface d'échange de chaleur: 48,4cm^2
■ cuivre, acier

Plages de mesure
■ vitesse d'écoulement: 0...10m/s
■ température: 8x 0...325°C
■ puissance de chauffe: 0...30W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 670x350x280mm
Poids: env. 17kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai, 1 jeu d'éprouvettes
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 440
Convection libre et forcée



Contenu didactique/essais

- convection libre et forcée
- calcul des transferts de chaleur convectifs sur différentes géométries
  - plaque plane
  - cylindre
  - faisceau tubulaire
- détermination expérimentale du nombre de Nusselt
- calcul de grandeurs caractéristiques typiques du transfert de chaleur
  - nombre de Nusselt
  - nombre de Reynolds
- rapport entre formation d'écoulement et transfert de chaleur pendant l'essai
- description du processus non stationnaire de chauffage

Description

- **convection libre et forcée en prenant l'exemple de différents éléments de chauffage**
- **fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation**
- **élément de la série GUNT-Thermoline: principes de base du transfert de chaleur**

La convection fait partie des trois formes principales du transfert de chaleur. Il se produit un transport de chaleur lié à la matière. Lors de la convection, le fluide est en mouvement.

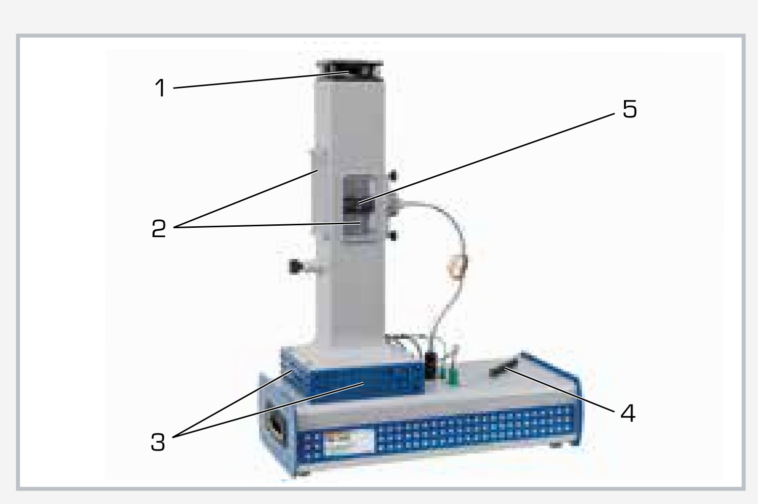
Le WL 440 offre des essais de base permettant un enseignement ciblé sur le thème de la convection libre et forcée sur différents éléments de chauffage.

Le cœur de l'appareil d'essai est constitué d'un conduit d'air vertical dans lequel différents éléments de chauffage sont insérés. Un ventilateur axial se trouve sur le haut du conduit d'air. Le ventilateur aspire de l'air ambiant et le transporte à travers le conduit d'air. L'air passe un élément de chauffage et absorbe au passage de la chaleur. Quatre éléments ayant des géométries différentes sont à disposition. Pour l'étude de la convection libre, deux des quatre éléments de chauffage peuvent être utilisés en dehors du conduit d'air. Les éléments de chauffage sont conçus de telle façon qu'ils dégagent de la chaleur seulement par leur surface. Leur forme compacte assure le chauffage rapide.

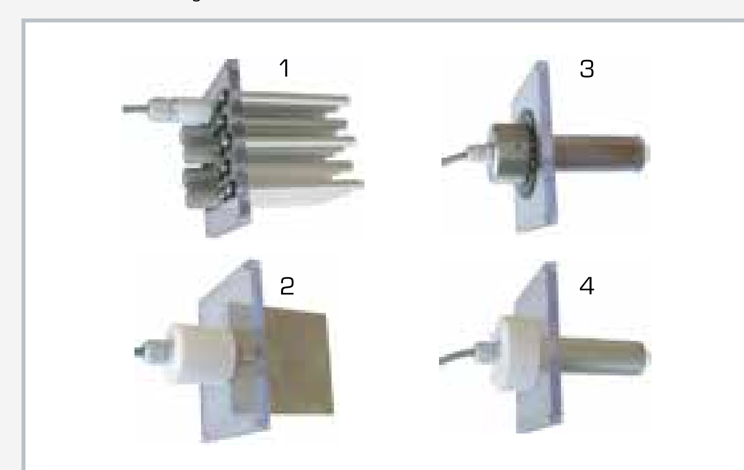
L'appareil d'essai est équipé, au niveau de l'entrée et de la sortie du conduit d'air, de capteurs de température. La vitesse de l'air est mesurée pour qu'il soit possible de déterminer le débit de l'écoulement d'air. La puissance de chauffe et le débit de l'écoulement sont ajustés et affichés par l'intermédiaire du logiciel.

La technique de mesure assistée par microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices. La liaison au PC est assurée par une connexion USB.

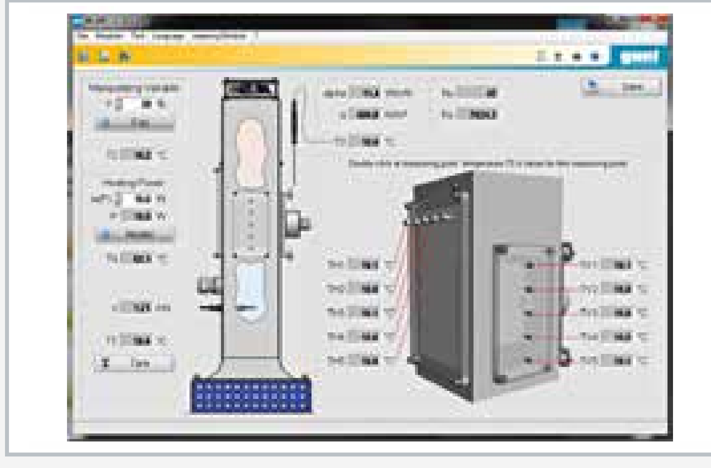
WL 440
Convection libre et forcée



1 ventilateur, 2 voyant, 3 entrée d'air, 4 instrument portatif de mesure de température, 5 élément de chauffage



Différents éléments de chauffage à échanger: 1 faisceau tubulaire, 2 plaque plane, 3 cylindre avec film chauffant pour examiner le transfert de chaleur, 4 cylindre avec une température homogène de surface



Interface utilisateur du logiciel performant de GUNT

Spécification

[1] étude du transfert de chaleur par convection forcée dans le conduit d'air
[2] étude de la convection libre
[3] conduit d'air avec ventilateur axial
[4] 4 éléments de chauffage ayant des géométries différentes
[5] puissances de chauffe et de ventilation réglables en continu
[6] affichage des températures, de la puissance de chauffe et de la vitesse de l'air dans le logiciel
[7] l'instrumentation intégrée à microprocesseur évite la câblage supplémentaire
[8] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Conduit d'air
- section d'écoulement: 120x120mm
- hauteur: env. 0,6m

Éléments de chauffage, limitation de la températ.: 90°C
- faisceau tubulaire, nombre de tubes: 23
  - un tube chauffé, position variable
  - puissance de chauffe: 20W
  - surface d'échange de chaleur: 0,001m²
- cylindre avec une température homogène de surface
  - puissance de chauffe: 20W
  - surface d'échange de chaleur: 0,0112m²
- plaque
  - puissance de chauffe: 40W
  - surface d'échange de chaleur: 2x 0,01m²
- cylindre avec film chauffant pour examiner le transfert de chaleur: puissance: 40W, surface: 0,0112m²

Ventilateurs axiaux
- débit max.: 500m³/h
- différence de pression: env. 950Pa
- puissance absorbée: 90W

Plages de mesure
- vitesse de l'air: 0...10m/s
- température: 4x 0...325°C
- puissance de chauffe: 0...50W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 670x350x880mm; Poids: env. 25kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 460
Transfert de chaleur par rayonnement



Description

- **influence de surfaces différentes sur le transfert de chaleur par rayonnement**
- **fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation**
- **élément de la série GUNT-Thermoline: principes de base du transfert de chaleur**

Le rayonnement thermique fait partie des trois formes principales du transfert de chaleur. Dans le cas du rayonnement, le transfert de chaleur se fait par le biais d'ondes électromagnétiques. À la différence de la conduction thermique et de la convection, le rayonnement thermique peut aussi se propager dans le vide. Le rayonnement thermique n'est pas lié à la matière.

Le WL 460 offre des essais de base permettant un enseignement ciblé sur le thème du transfert de chaleur par rayonnement. Une éprouvette en métal chauffée par un faisceau de lumière concentré constitue le cœur de l'appareil d'essai. Le faisceau de lumière concentré est généré par une lampe halogène réglable en continu et un réflecteur parabolique. Le réflecteur concentre le faisceau de lumière dans un foyer.

L'éprouvette est positionnée sur un thermocouple placé dans le foyer. Le rayonnement thermique dissipé par l'éprouvette est mesuré par une thermopile. Afin de pouvoir mesurer le rayonnement à différentes distances, la thermopile est montée sur un rail mobile.

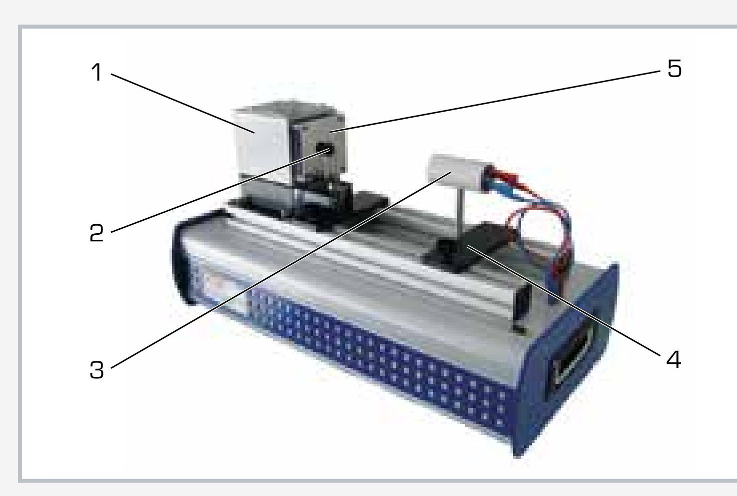
Des éprouvettes avec des surfaces différentes sont à disposition. Des composants adaptés de manière optimale assurent le chauffage rapide et des mesures de faible niveau de pertubation.

La technique de mesure assistée par microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices. La liaison au PC est assurée par une connexion USB.

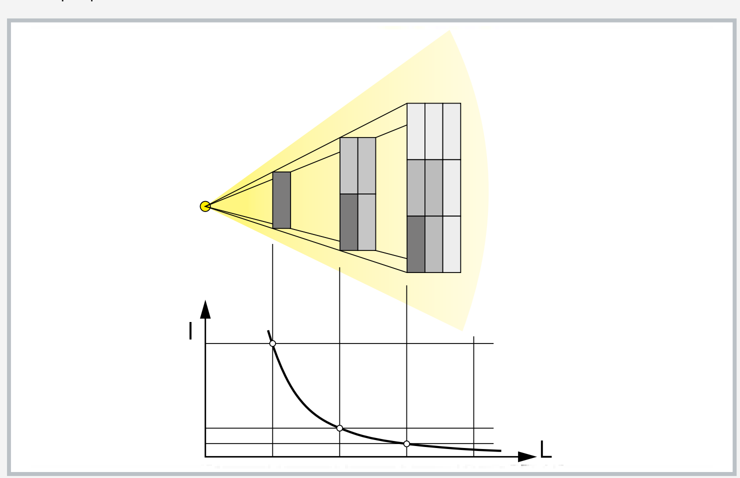
Contenu didactique/essais

- démonstration de la loi de Lambert
- démonstration de la loi de Stefan-Boltzmann
- démonstration de la loi de Kirchhoff
- étude du comportement non stationnaire
- établissement de bilans de puissance
- génération de diagrammes logarithmiques pour l'évaluation

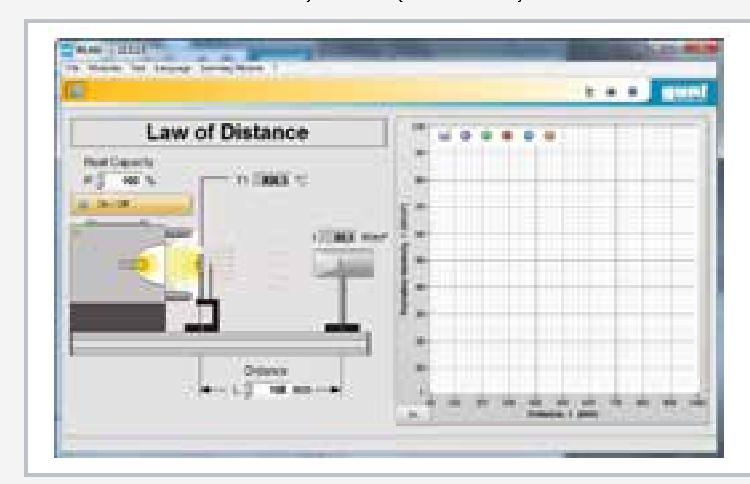
WL 460
Transfert de chaleur par rayonnement



1 boîtier de lampe, 2 éprouvette positionnée sur un thermocouple, 3 thermopile, 4 rail mobile, 5 plaque d'orifice



Intensité du rayonnement avec source de rayonnement ponctuelle: I intensité du rayonnement, L distance de la source de rayonnement (loi de Lambert)



Interface utilisateur du logiciel performant de GUNT

Spécification

[1] étude du rayonnement thermique sur différentes surfaces chauffées par un faisceau de lumière concentré
[2] génération du faisceau de lumière concentré avec lampe halogène réglable en continu et un réflecteur parabolique
[3] 6 éprouvettes métalliques différentes
[4] thermopile sur rail mobile pour la mesure du rayonnement thermique dissipé
[5] affichage des températures et de l'intensité du rayonnement dans le logiciel
[6] l'instrumentation intégrée commandée par microprocesseur signifie qu'aucun dispositif supplémentaire avec un câblage sujet aux erreurs n'est nécessaire
[7] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données et commande de l'installation
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Lampe halogène
- puissance électrique: 150W
- température max.: env. 560°C

Éprouvettes en aluminium, Ø 20mm
- 1x anodisé mat des deux côtés
- 1x verni des deux côtés (vernis résistant aux hautes températures)
- 1x anodisé mat avec vernis sur un côté

Éprouvettes en cuivre, Ø 20mm
- 1x nickelé
- 1x fortement oxydé

Éprouvette en acier, Ø 20mm
- 1x fortement oxydé

Plages de mesure
- température: 0...780°C
- intensité de rayonnement: 0...1250W/m^2

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 670x350x370mm
Poids: env. 18kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'éprouvettes
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 900

Conduction thermique en régime stationnaire et dynamique



Contenu didactique/essais

- conduction thermique dans le cas stationnaire
- conduction thermique dans le cas non stationnaire
- courbes de température-temps
- calcul de la conductivité thermique λ de différents métaux

Description

- **conduction thermique stationnaire et non stationnaire dans des métaux**
- **12 points de mesure de la température dans chaque éprouvette**
- **température régulée de la source de chaleur**

On appelle conduction thermique le transport de chaleur entre des molécules dans des fluides solides, liquides ou gazeux, sous l'effet d'un différentiel de température. Lorsque le transport de chaleur est maintenu constant par un apport de chaleur, on parle de conduction thermique stationnaire. Dans le cas de la conduction thermique non stationnaire, la distribution de la température dans le corps dépend de l'endroit et du temps. La conductivité thermique λ est une propriété de matériau qui dépend de la température, et indique la qualité de propagation de la chaleur à partir d'un point de ce matériau.

Le WL 900 permet d'étudier aussi bien la conduction thermique stationnaire que non stationnaire. Le banc d'essai est constitué d'une source de chaleur et d'un dissipateur thermique. Des éprouvettes cylindriques constituées de différents métaux sont installées entre les deux. Chaque éprouvette est pourvue de 12 points de mesure de la température. Les points de mesure de la température sont agencés de façon telle, que le champ de température soit le moins possible perturbé, et que la température mesurée soit celle relevée au centre de l'éprouvette.

La source de chaleur est constituée d'un circuit d'eau de chauffage à fonctionnement électrique. Un régulateur électronique assure le maintien de l'eau de chauffage à une température constante. Le dissipateur thermique est réalisé au moyen d'un refroidissement par eau. Un réservoir élevé garantit un débit d'eau de refroidissement constant.

Un saut de température peut être généré par une régulation appropriée du débit de refroidissement. Un PC peut être utilisé pour représenter dans le temps et dans l'espace la distribution non stationnaire de la température dans l'éprouvette.

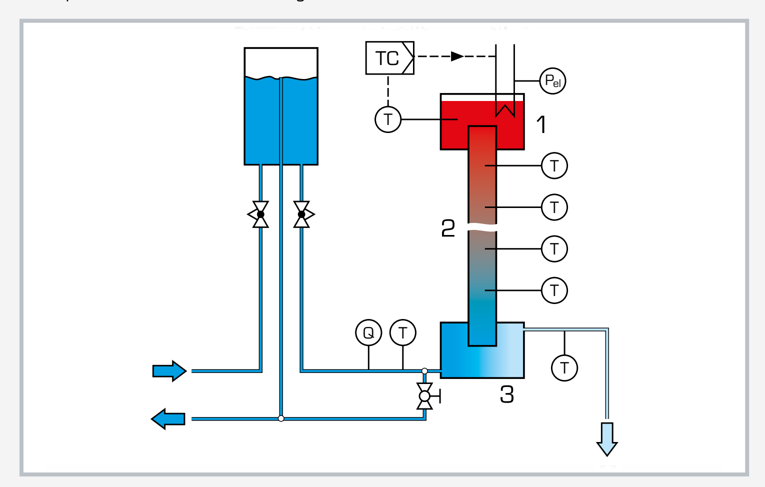
Les températures de l'éprouvette, de l'eau de chauffage et de l'eau de refroidissement, ainsi que la puissance de chauffe électrique et le débit d'eau de refroidissement, sont affichés numériquement sur l'armoire de commande, et peuvent aussi être transmis directement par liaison USB à un PC où ces données seront exploitées à l'aide du logiciel fourni. La conductivité thermique λ est calculée à partir des données de mesure.

WL 900

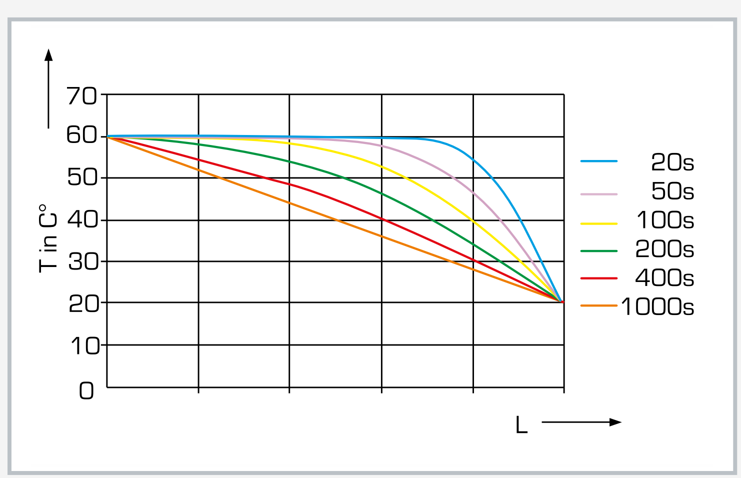
Conduction thermique en régime stationnaire et dynamique



1 réservoir élevé pour pression d'admission constante de l'eau de refroidissement,
2 source de chaleur avec dispositif de chauffage, 3 éprouvette, 4 dissipateur thermique refroidi par eau, 5 éléments d'affichage et de commande



1 dispositif de chauffage, 2 éprouvette, 3 dissipateur thermique; T température, Q débit, TC régulateur de température de l'eau de chauffage, P_{el} puissance de chauffe électrique, bleu: eau de refroidissement, rouge: eau de chauffage



Courbe de température non stationnaire le long d'une barre en cas de refroidissement soudain
T température, L longueur de la barre, lignes en couleur: courbe de température à différents points dans le temps

Spécification

[1] étude de la conduction thermique stationnaire et non stationnaire dans des métaux
[2] détermination de la conductivité thermique λ
[3] circuit d'eau de chauffage comme source de chaleur, régulation électronique
[4] dispositif de chauffage électrique avec régulateur PID
[5] réservoir élevé avec trop-plein pour la génération d'un débit d'eau de refroidissement constant
[6] éprouvettes composées de 5 métaux différents
[7] mesure de la température et du débit de l'eau de refroidissement
[8] affichages numériques: puissance de chauffe électrique, températures, débit d'eau de refroidissement
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Dispositif de chauffage
- puissance: 800W
- température: 20...85°C

Éprouvettes, Ø 40mm
- 3x 450mm (cuivre, aluminium, laiton)
- 2x 300mm (acier, acier inoxydable)

Réservoir de chauffe: env. 2L
Réservoir de refroidissement: env. 0,5L
Réservoir élevé: env. 6L

Capteur de température
- 12x thermocouple de type K, le long de l'éprouvette
- 2x Pt100, dans l'eau de refroidissement
- 1x Pt100, dans l'eau de chauffage

Plages de mesure
- température: 14x 0...100°C
- puissance: 0...1000W
- débit: 0,1...2,5L/min

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase, 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1240x800x1670mm
Poids: env. 150kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



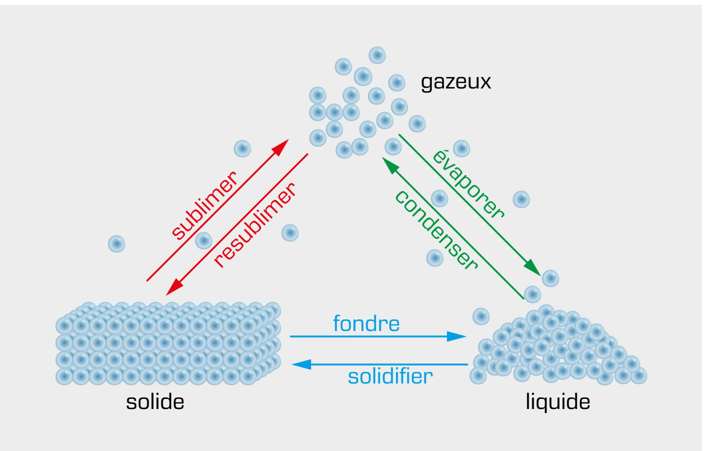
Connaissances de base

Transition entre phases

Transition entre phases

On appelle phase un état gazeux, liquide ou solide dans un système homogène de substances. La phase dépend des grandeurs d'état thermodynamiques que sont la pression **p** et la température **T**.

On appelle transition entre phases la transformation d'une phase en une autre:



Au-dessus du point critique 3, dans certains systèmes de substances comme l'eau, on ne distingue plus la phase gazeuse de la phase liquide. Les propriétés physiques du fluide se situent entre les deux phases: La densité correspond à celle de la phase liquide, et la viscosité à celle de la phase gazeuse. Cette phase est appelée "super critique". Dans cette phase, le fluide ne peut ni s'évaporer, ni se condenser.

Certains systèmes de substances comme l'eau présentent une autre particularité qu'on appelle le point triple 1. On a ici un équilibre entre une phase solide, mais aussi une phase liquide, et une phase gazeuse. L'intégralité des six formes de la transition entre phases se déroule simultanément au point triple.

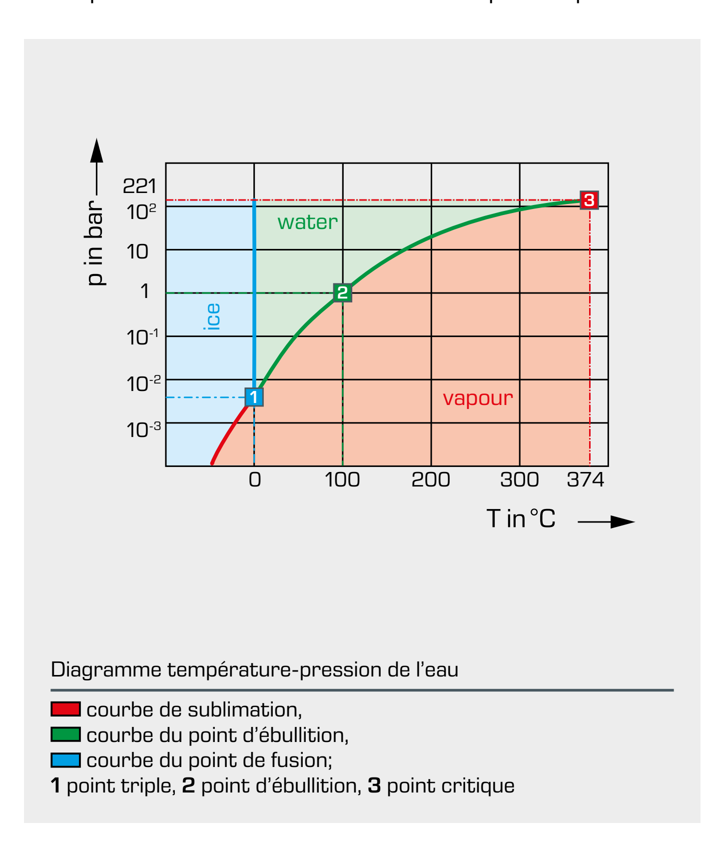
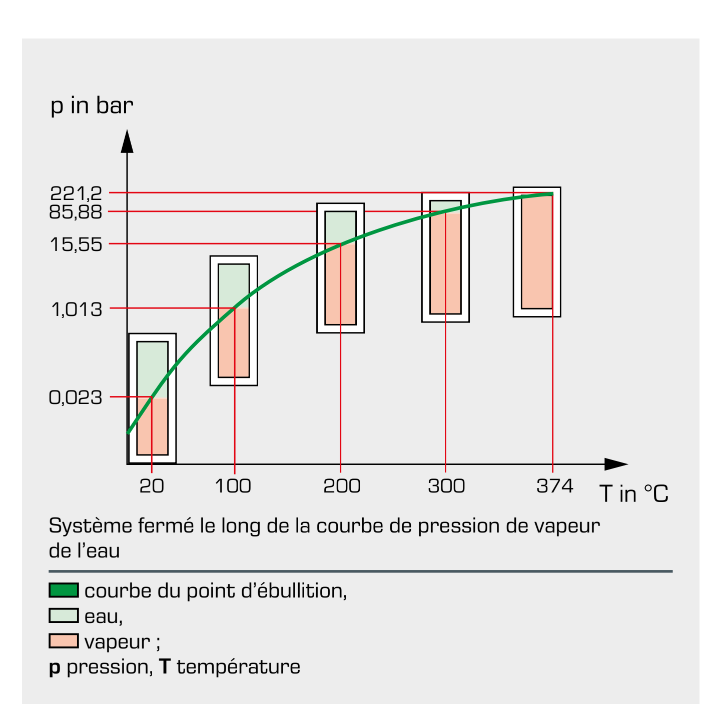


Diagramme température-pression de l'eau

courbe de sublimation,
courbe du point d'ébullition,
courbe du point de fusion;
1 point triple, **2** point d'ébullition, **3** point critique



Système fermé le long de la courbe de pression de vapeur de l'eau

courbe du point d'ébullition,
eau,
vapeur ;
p pression, **T** température

Dans un système fermé avec remplissage de liquide, un équilibre thermodynamique s'établit entre le liquide et sa phase de vapeur. Cet état est appelé état de saturation. La pression qui règne est appelée pression de vapeur, ou pression de vapeur de saturation, la température est la température de saturation. Ces deux éléments permettent de tracer la courbe de pression de vapeur. Cette dernière est représentée sur le diagramme température-pression de l'eau.

Procédé d'évaporation

La vapeur d'eau est utilisée dans différents processus techniques. Les applications les plus courantes sont les processus de chauffe, ainsi que les turbines à vapeur des centrales électriques.

Applications typiques de la vapeur dans des processus:

- chauffage: p.ex. échangeur de chaleur à faisceaux tubulaires pour le chauffage d'un produit
- entraînement: p.ex. turbines à vapeur, machine à vapeur
- fluide d'entraînement: p.ex. éjecteurs à jet de vapeur pour séparer les gaz de processus
- pulvérisation: vapeur pour la séparation mécanique de fluides, p.ex. dans les torchères pour réduire les particules de suie dans les gaz d'échappement
- nettoyage: nettoyeur vapeur pour désencrasser
- humidification de produits: production de papier
- humidification de l'air: humidificateur à vapeur dans un conduit d'air

On fait la distinction entre gaz idéal, gaz réel et vapeur. Dans le cas d'un gaz idéal, pression et volume se comportent exactement de manière inversement proportionnelle; pour un gaz réel c'est aussi le cas, mais seulement de manière approximative. Lors de l'évaporation, la modification de la pression en fonction du volume n'est que minimale, et dépend du degré de saturation.

La vapeur peut prendre différentes formes:

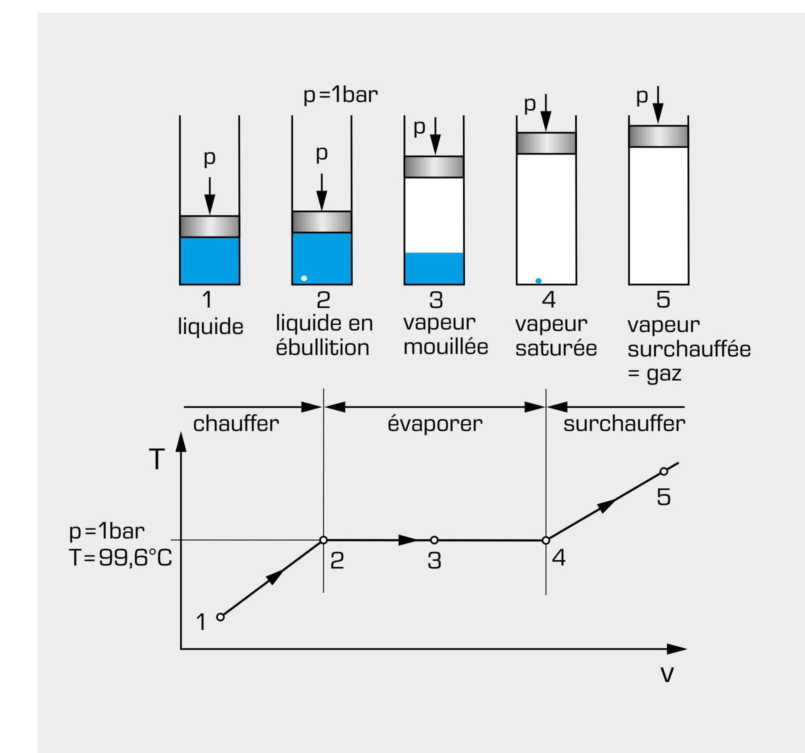
Vapeur humide ou vapeur mouillée: états liquide et gazeux des molécules d'un système, certaines molécules d'eau ont à nouveau libéré leur chaleur d'évaporation, et se condensent en gouttelettes d'eau

Vapeur saturée: zone limite entre vapeur humide et vapeur chaude; état dans lequel la dernière goutte d'eau passe de la forme liquide à la forme gazeuse; avec un apport de chaleur supplémentaire au-delà du point d'ébullition, de la vapeur chaude ou surchauffée est générée.

Vapeur chaude: on fait la distinction entre **vapeur surchauffée** et **vapeur surcritique**

Vapeur surchauffée: vapeur ayant une température supérieure à la température d'ébullition, état purement gazeux des molécules d'eau, présence de gaz réel

Vapeur surcritique: phase avec températures dépassant le point critique



Évaporation de l'eau: transformation d'état lors du chauffage de l'eau à une pression constante **p** = 1bar

T température,
v volume spécifique;
1 liquide,
2 liquide en ébullition,
3 vapeur (mouillée) insaturée,
4 vapeur saturée,
5 vapeur surchauffée (gaz)

WL 210
Procédé d'évaporation



Contenu didactique/essais

- observation des formes d'écoulement typiques de l'évaporation
  - écoulement monophasique liquide
  - ébullition surrefroidie
  - écoulement à bouchons
  - écoulement annulaire
  - ébullition pelliculaire
  - écoulement vaporisé
  - écoulement de vapeur monophasique
  - vapeur humide
- étude de l'influence sur le procédé d'évaporation
  - débit
  - température
  - pression

Description

- **visualisation de l'évaporation dans un évaporateur tubulaire à double paroi en verre**
- **utilisation d'un liquide spécial, non toxique, à bas point d'ébullition**

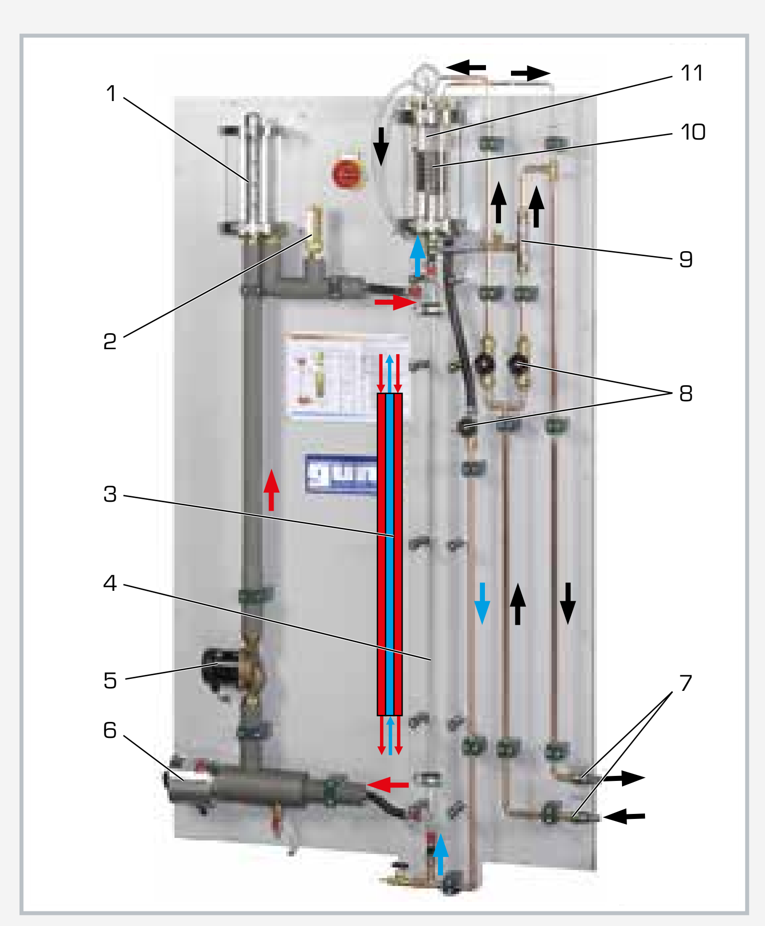
Lors de la production de vapeur, le fluide à évaporer passe par différentes formes d'écoulement, en fonction de la zone de transfert de chaleur. Le fluide arrive sous forme de liquide dans un évaporateur tubulaire, et en ressort sous forme de vapeur surchauffée. Dans la pratique, la vapeur d'eau produite dans les grandes installations est utilisée, par exemple, pour alimenter des centrales de cogénération ou des entraînements de machine. Dans le cadre du dimensionnement des générateurs de vapeur, et afin d'assurer leur fonctionnement sécurisé, il est important de connaître le procédé d'évaporation et les crises d'ébullition.

Les crises d'ébullition apparaissent suite à une dégradation soudaine du transfert de chaleur, au cours de laquelle la densité de flux de chaleur entraîne une augmentation dangereuse de la température de paroi.

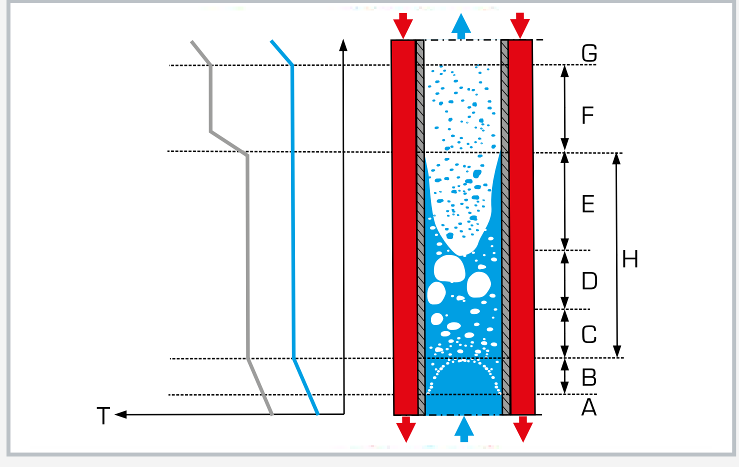
L'installation d'essai WL 210 permet d'étudier et de visualiser le procédé d'évaporation dans les différentes formes d'écoulement. On chauffe à cet effet un liquide d'évaporation, le Solkatherm SES36, à l'intérieur d'un évaporateur tubulaire en verre.

À la différence de l'eau, ce liquide présente l'avantage d'avoir un point d'ébullition à 36,7°C (1013hPa); le procédé d'évaporation se déroule ainsi dans son ensemble à des températures beaucoup plus basses, et requiert une puissance de chauffe bien inférieure. On peut faire varier la pression par le biais du circuit de refroidissement. Une pompe à jet d'eau fait le vide dans le circuit d'évaporation.

WL 210
Procédé d'évaporation



1 réservoir du circuit de chauffage, 2 thermomètre, 3 évaporateur tubulaire, dessin de principe, 4 évaporateur tubulaire, 5 pompe, 6 dispositif de chauffage, 7 raccord d'eau de refroidissement, 8 soupapes, 9 pompe à jet d'eau, 10 serpentin, 11 collecteur avec manomètre et soupape de sécurité; rouge: circuit de chauffage, bleu: circuit d'évaporation, noir: circuit de refroidissement



Évaporation dans un évaporateur tubulaire:
A liquide surrefroidi, B début d'ébullition, C écoulement de bulles, D écoulement à bouchons, E écoulement annulaire, F écoulement vaporisé, G vapeur surchauffée, H zone d'ébullition; bleu: température du liquide, gris: température de la surface chauffante

Spécification

[1] visualisation de l'évaporation dans un évaporateur tubulaire
[2] fluide de chauffage et de refroidissement: eau
[3] évaporateur tubulaire en verre double paroi
[4] circuit de chauffage avec dispositif de chauffage, pompe et réservoir d'expansion
[5] la soupape de sécurité protège le système des hautes pressions
[6] pompe à jet d'eau fait le vide dans le circuit d'évaporation
[7] circuit d'évaporation avec liquide d'évaporation sans CFC Solkatherm SES36

Caractéristiques techniques

Élément chauffant
- puissance: 2kW
- plage de température: 5...80°C

Fluide de chauffage et de refroidissement: eau

Pompe
- 3 étages
- débit de refoulement: 1,9m^3/h
- hauteur de refoulement: 1,5m
- puissance absorbée: 58W

Évaporateur tubulaire
- longueur: 1050mm
- diamètre intérieur: 16mm
- diamètre extérieur: 24mm
- plage de pression: -1...1,5bar relatif

Condenseur: serpentin en cuivre

Plages de mesure
- pression: -1...1,5bar relativ
- température: 0...100°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1250x790x1970mm
Poids: env. 170kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau: 500mbar, min. 320L/h, drain

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 agent réfrigérant (Solkatherm SES36, 1kg)
1 jeu de flexibles
1 documentation didactique

WL 220
Procédé d'ébullition



Description

■ **visualisation de l'ébullition et de l'évaporation**

Lorsque l'on chauffe un liquide sur une surface chauffante, des formes d'ébullition différentes se forment en fonction de la densité de flux de chaleur. Ces dernières peuvent soit accélérer (ébullition nucléée), soit entraver (ébullition pelliculaire), le procédé d'évaporation. Dans la pratique, il faut assurer une limitation de la densité de flux de chaleur, afin d'éviter tout endommagement de la surface chauffante. Ce principe trouve une application par exemple dans le dimensionnement des chaudières avec des entraînements à vapeur.

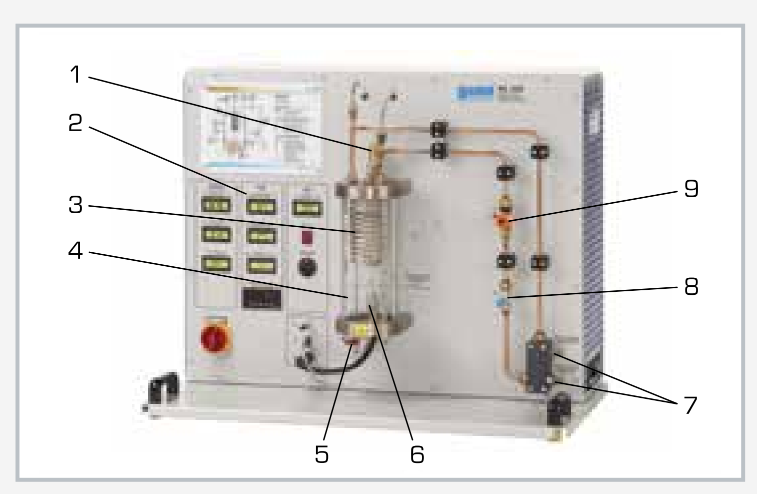
L'appareil d'essai WL 220 permet de démontrer de manière claire les procédés d'ébullition et d'évaporation. Les procédés ont lieu dans un réservoir transparent. Un condenseur en forme de serpentin refroidi par eau assure un circuit fermé à l'intérieur du réservoir. On utilise du Solkatherm SES36 comme liquide d'évaporation. À la différence de l'eau, ce liquide présente l'avantage d'avoir un point d'ébullition à 36,7°C (1013hPa); le procédé d'évaporation se déroule ainsi à des températures beaucoup plus basses, et requiert une puissance de chauffe bien inférieure.

Des capteurs enregistrent le débit de l'eau de refroidissement, la puissance de chauffe, la pression et les températures à tous les points pertinents. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

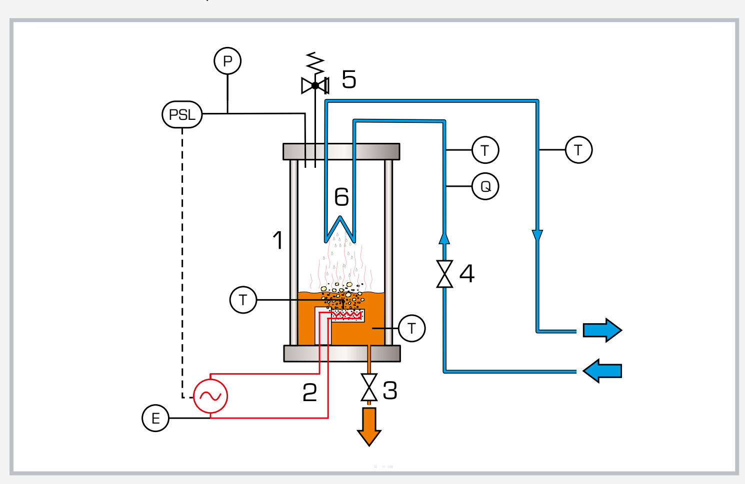
Contenu didactique/essais

- visualisation de différentes formes d'ébullition
  - ébullition libre
  - ébullition nucléée
  - ébullition pelliculaire
- transfert thermique
- influence de la température et de la pression sur le procédé d'évaporation

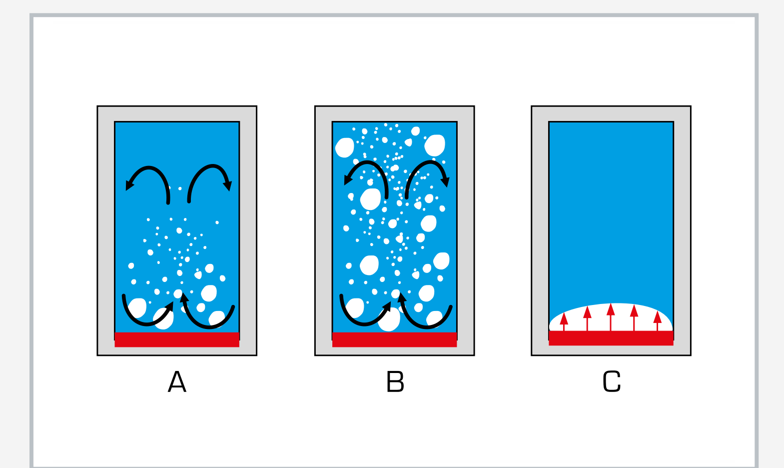
WL 220
Procédé d'ébullition



1 soupape de sécurité, 2 affichages de la température, du débit et de la pression, 3 condenseur, 4 réservoir sous pression, 5 soupape de purge du liquide d'évaporation, 6 dispositif de chauffage, 7 raccord d'eau de refroidissement, 8 soupape d'ajustage de l'eau de refroidissement, 9 capteur de débit de l'eau de refroidissement



1 réservoir sous pression, 2 dispositif de chauffage, 3 soupape de purge, 4 soupape de l'eau de refroidissement, 5 soupape de sécurité, 6 condenseur; orange: liquide d'évaporation, rouge: dispositif de chauffage, bleu: circuit de refroidissement; PSL pressostat, E puissance, T température, Q débit, P pression



Différentes formes d'ébullition: A ébullition libre, B ébullition nucléée, C ébullition pelliculaire; rouge: dispositif de chauffage, bleu: liquide d'évaporation, blanc: vapeur, noir: écoulement de convection

Spécification

[1] visualisation de l'ébullition et de l'évaporation dans un réservoir transparent sous pression
[2] évaporation avec élément chauffant
[3] condensation avec serpentin
[4] la soupape de sécurité protège le système des hautes pressions
[5] pressostat pour protection supplémentaire du réservoir sous pression, réglable
[6] capteurs de débit, pression et température avec affichage numérique
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[8] liquide d'évaporation sans CFC Solkatherm SES36

Caractéristiques techniques

Dispositif de chauffage
- puissance: 250W, ajustage en continu

Soupape de sécurité: 2bar rel.
Réservoir sous pression: 2850mL
Condenseur: serpentin en cuivre

Plages de mesure
- pression: 0...4bar abs. (réservoir)
- puissance: 0...300W (dispositif de chauffage)
- débit: 0,05...1,8L/min (eau de refroidissement)
- température: 4x 0...100°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x550x800mm
Poids: env. 65kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 agent réfrigérant (Solkatherm SES36, 2kg)
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 jeu de flexibles
1 documentation didactique



WL 204
Pression de vapeur de l'eau



Contenu didactique/essais

- enregistrement de la courbe de pression de vapeur de l'eau
- représentation de la relation entre pression et température dans un système fermé
- mesure de la température et de la pression

Description

- **enregistrement de la courbe de pression de vapeur de l'eau**
- **pression de saturation de la vapeur d'eau comme fonction de la température**

Dans un système fermé avec remplissage de liquide, un équilibre thermodynamique s'établit entre le liquide et sa phase à l'état de vapeur. La pression qui y règne est appelée pression de vapeur. Cette dernière est spécifique à chaque matière, et varie en fonction de la température.

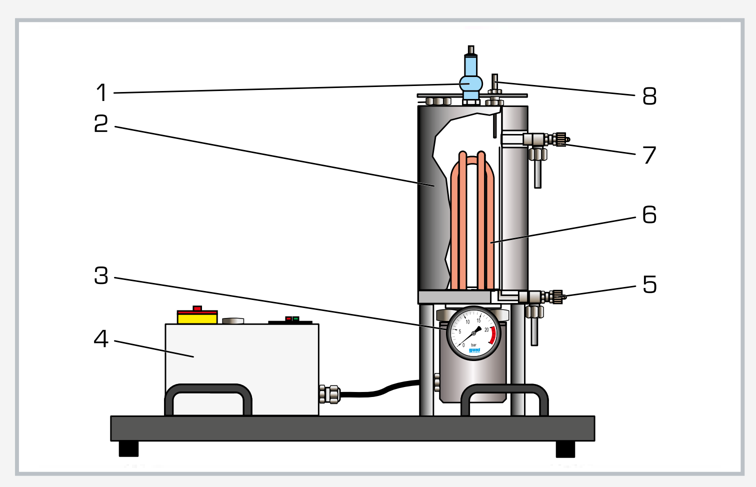
Lorsque l'on chauffe un liquide dans un réservoir fermé, la pression augmente lorsque la température augmente. En théorie, il est possible d'augmenter la vapeur jusqu'au point critique pour lequel les densités de la phase liquide et de la phase gazeuse sont égales. On ne peut alors plus distinguer le liquide de la vapeur.

Ce principe trouve une application pratique en génie des procédés, lors de la lyophilisation ou de la cuisson en autoclave.

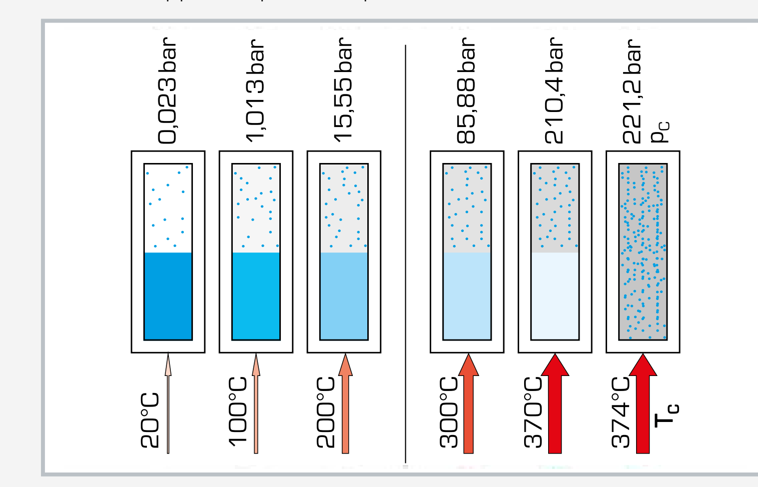
L'appareil d'essai WL 204 permet de montrer de manière claire le rapport qui existe entre la pression et la température de l'eau. Il est possible d'enregistrer la courbe de pression de vapeur pour des températures pouvant atteindre 200°C. Un affichage numérique de la température, ainsi qu'un manomètre à tube de Bourdon, permettent de suivre en continu l'évolution de la température et de la pression.

L'appareil est équipé d'un dispositif de sécurité, composé d'un limiteur de température et d'une soupape de sécurité, qui protège le système en cas de surpression.

WL 204
Pression de vapeur de l'eau



1 soupape de sécurité, 2 cuve avec matière isolante, 3 manomètre à tube de Bourdon, 4 coffret de commande avec afficheur de température, 5 soupape d'évacuation, 6 élément chauffant, 7 trop-plein, 8 capteur de température



Chauffage de l'eau dans un réservoir fermé: la pression et la température augmentent de manière proportionnelle jusqu'au point critique auquel on ne peut plus distinguer le liquide de la vapeur; point critique avec T_c=374°C, p_c=221bar, ligne en pointillés: limitation de température de l'appareil d'essai

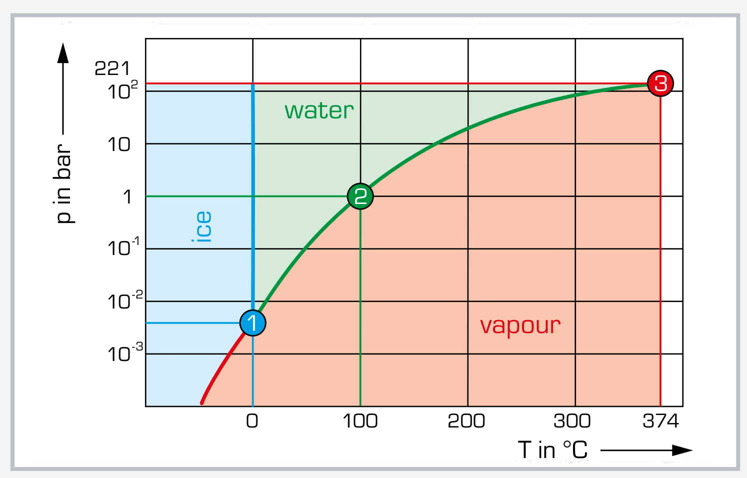


Diagramme de température-pression de l'eau
rouge: courbe de sublimation, vert: courbe du point d'ébullition, bleu: courbe du point de fusion; 1 point triple, 2 point d'ébullition, 3 point critique

Spécification

[1] mesure de la courbe de pression de vapeur saturée
[2] cuve avec matière isolante
[3] limiteur de température et soupape de sécurité protègent le système des hautes pressions
[4] manomètre à tube de Bourdon pour l'affichage de la pression
[5] affichage numérique de la température

Caractéristiques techniques

Manomètre à tube de Bourdon: -1...24bar
Limiteur de température: 200°C
Soupape de sécurité: 20bar
Élément chauffant: 2kW
Cuve, acier inoxydable: 2L

Plages de mesure
- température: 0...200°C
- pression: 0...20bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 600x400x680mm
Poids: env. 35kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 trémie
1 jeu d'outils
1 documentation didactique

WL 230
Procédé de condensation



Description

■ **visualisation des différents procédés de condensation**

La vapeur se condense lorsqu'elle entre en contact avec un fluide dont la température est inférieure à la température de saturation de la pression partielle de la vapeur présente. Le matériau et la rugosité de la surface du fluide ont, entre autres, une influence sur le transfert de chaleur, et donc sur le type de condensation. Dans la pratique, on trouve le plus souvent de la condensation pelliculaire, la condensation en gouttes se formant uniquement sur les surfaces très lisses et faiblement adhérentes telles que le téflon. Les connaissances sur les procédés de condensation trouvent une application pratique, p.ex. dans les centrales thermiques à vapeur ou les procédés de distillation.

L'appareil d'essai WL 230 permet d'obtenir une représentation claire des différents procédés de condensation sur deux condenseurs tubulaires refroidis par eau, et composés de différents matériaux. Il est possible de montrer de la condensation en gouttes au moyen du condenseur qui dispose d'une surface polie et dorée. Un film de condensat se forme sur la surface en cuivre mate du second condenseur, ce qui permet d'étudier la condensation pelliculaire.

L'évacuation du réservoir se fait au moyen d'une pompe à jet d'eau. Le point d'ébullition et la pression dans le système sont ajustés au moyen de la puissance de chauffe et de refroidissement. Des capteurs enregistrent la température, la pression et le débit à tous les points pertinents. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Les valeurs de mesure permettent de calculer le coefficient de transfert de chaleur. L'influence des gaz non-condensants, la pression et le différentiel de température entre la surface et la vapeur peuvent être étudiés dans le cadre d'essais complémentaires.

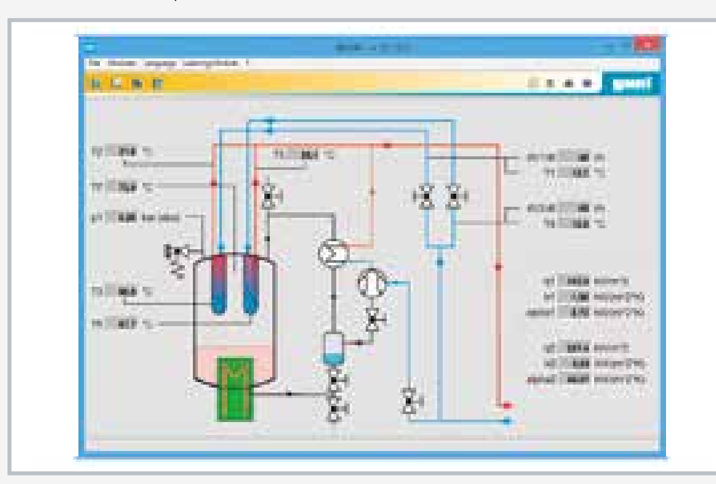
Contenu didactique/essais

- condensation en gouttes et condensation en film
- détermination du coefficient d'échange thermique
- influence de la pression, de la température et des gaz non condensables sur la condensation

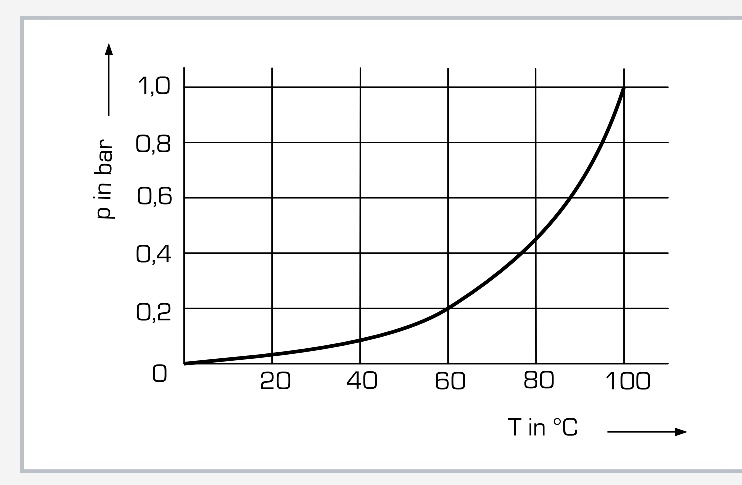
WL 230
Procédé de condensation



1 condenseurs, 2 échangeurs de chaleur, 3 purgeur de vapeur, 4 affichages de la température, du débit et de la pression, 5 dispositif de chauffage, 6 raccord d'eau de refroidissement, 7 pompe à jet d'eau, 8 capteur de température, 9 soupape d'ajustage de l'eau de refroidissement, 10 capteur de débit de l'eau de refroidissement



Capture d'écran du logiciel



Courbe de pression de vapeur d'eau: p pression, T température

Spécification

[1] visualisation du procédé de condensation de l'eau dans un réservoir transparent
[2] comme condenseurs, deux tubes refroidis par eau ayant des surfaces différentes pour la réalisation de la condensation pelliculaire et de la condensation en gouttes
[3] dispositif de chauffage régulé pour l'ajustage de la température d'ébullition
[4] pompe à jet d'eau pour l'évacuation du réservoir
[5] pressostat et soupape de sécurité pour un fonctionnement sécurisé
[6] capteurs de température, pression et débit avec affichage numérique
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Dispositif de chauffage
- puissance: 3kW, ajustable en continu

Condenseur
- 1x tube avec surface en cuivre mate
- 1x tube avec surface polie et dorée

Pompe à jet d'eau
- débit de refoulement: 4...12L/min
- pression: 16mbar

Soupape de sécurité: 2,2bar abs.

Plages de mesure
- pression: 0...10bar abs.
- débit: 0,2...6L/min
- température: 4x 0...100°C, 3x 0...200°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x550x790mm
Poids: env. 85kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau: 1bar, max. 1000L/h, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 appareil d'essai
5L eau distillée
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 jeu de flexibles
1 documentation didactique



2

Échangeurs de chaleur

Introduction

Connaissances de base Échangeurs de chaleur	066

Transfert thermique

WL 314 Transfert de chaleur convectif dans un écoulement d'air	070
WL 314.01 Transfert de chaleur convectif dans des tubes avec un écoulement parallèle	072
WL 314.02 Transfert de chaleur convectif dans des tubes avec un écoulement mélangé	073
WL 314.03 Transfert de chaleur convectif à l'intérieur d'un tube	074

Récupérateurs

WL 308 Transfert de chaleur dans un écoulement tubulaire	076
WL 302 Transfert de chaleur dans l'échangeur de chaleur coaxial	078
WL 315.01 Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire vapeur/eau	080
ET 300 Échangeur de chaleur tube à ailettes eau/air	082
Aperçu Série WL 110 Échangeurs de chaleur avec unité d'alimentation	084
WL 110 Unité d'alimentation pour échangeurs de chaleur	086
WL 110.01 Échangeur de chaleur coaxial	088
WL 110.02 Échangeur de chaleur à plaques	090
WL 110.03 Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	092
WL 110.04 Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin	094
Aperçu WL 312 Transfert de chaleur par écoulement d'air	096
WL 312 Transfert de chaleur par écoulement d'air	098
Aperçu WL 315C Comparaison de différents échangeurs de chaleur	100
WL 315C Comparaison de différents échangeurs de chaleur	102

Échangeurs de chaleur par contact direct

Aperçu WL 320 Tour de refroidissement par voie humide	104
WL 320 Tour de refroidissement par voie humide	106

Échangeur de chaleur à lit fluidisé

WL 225 Transfert de chaleur dans un lit fluidisé	108

Connaissances de base

Échangeurs de chaleur

Les échangeurs de chaleur sont utilisés pour chauffer, refroidir, évaporer ou condenser des fluides qui sont à différentes températures. Leur fonction principale consiste à transférer l'énergie thermique d'un fluide ayant un niveau de température plus élevé vers un fluide ayant un niveau de température plus bas.

Conformément au deuxième principe de la thermodynamique, le transport de chaleur s'effectue toujours du fluide ayant la température la plus élevée vers le fluide ayant la température la plus basse.

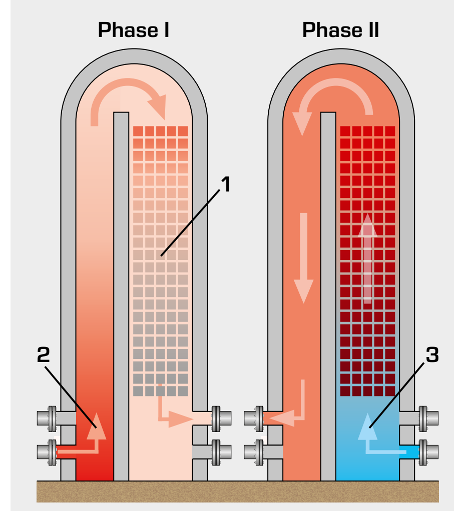
Les échangeurs de chaleur sont utilisés en génie énergétique, dans l'industrie chimique et l'industrie alimentaire, mais ils sont également très importants dans les secteurs de l'informatique et de l'automobile. Le transfert de chaleur peut aussi bien constituer le processus principal que le processus auxiliaire. On fait la distinction entre échangeurs de chaleur directs et indirects, selon que les fluides concernés entrent en contact direct ou non.

Classification des échangeurs de chaleur selon leur principe de fonctionnement

Échangeurs de chaleur indirects

Régénérateurs
- cowpers des hauts fourneaux
- échangeurs thermiques rotatifs

Dans les **régénérateurs**, du fluide chaud et du fluide froid circulent **alternativement** dans les réservoirs thermiques. Le transfert de chaleur se fait de manière indirecte, étant donné que le flux thermique est d'abord transféré à un fluide de stockage puis transmis avec un décalage dans le temps au fluide cible.

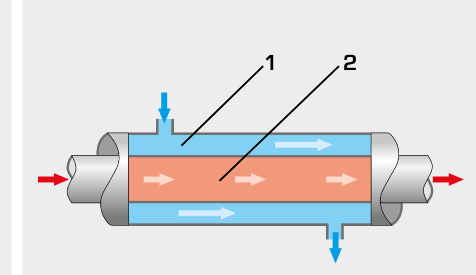


Cowpers en fonctionnement discontinu

Phase I: la masse de stockage **1** est chauffée par le gaz de fumée **2**,
Phase II: l'air froid **3** est acheminé auprès de la masse de stockage chauffée au préalable et se chauffe à son contact

Récupérateurs
- échangeurs de chaleur coaxial
- échangeurs de chaleur à faisceau tubulaire
- échangeurs de chaleur à plaques

Les **récupérateurs** sont traversés **simultanément** de manière stationnaire par deux fluides. Les flux de fluide peuvent être acheminés à courant parallèle, à contre-courant et à courants croisés. Une paroi sépare les flux de fluide: elle sert de surface de transfert. La chaleur est transférée indirectement du fluide chaud à la paroi de séparation, et de la paroi de séparation au fluide froid, sans délai.



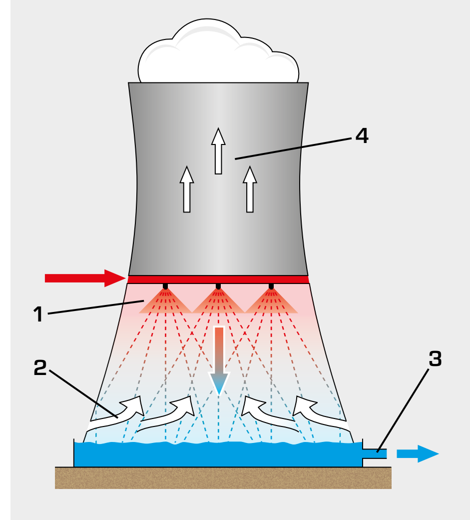
Échangeur de chaleur coaxial en fonctionnement à courant parallèle

1 tube externe,
2 tube interne;
fluide chaud,
fluide froid

Échangeurs de chaleur directs

Échangeurs de chaleur par contact direct
- tour de refroidissement par voie humide
- refroidissement intermédiaire dans les laminoirs

Les **échangeurs de chaleur par contact direct** mettent **en contact** deux fluides de températures différentes, et les mélangent. Le transfert de chaleur et de masse a lieu directement.



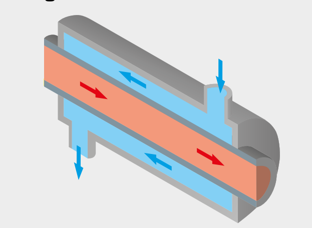
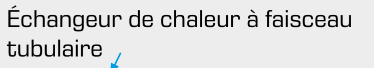
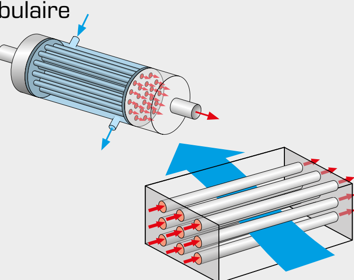
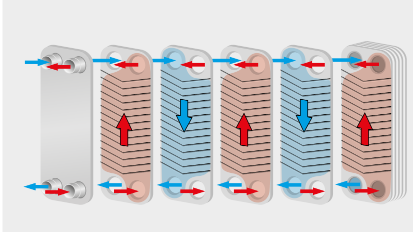
Tour de refroidissement par voie humide

1 brouillard d'eau chaude,
2 entrée d'air,
3 eau refroidie,
4 air humide

En général, on utilise comme **fluides de travail** des liquides ou des gaz mais aussi, dans des cas particuliers, des liquides en évaporation ou des vapeurs de condensation.

Construction des échangeurs de chaleur

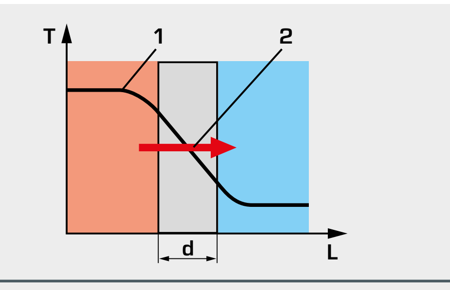
En raison de la grande diversité des applications, différentes constructions de récupérateurs ont été mises au point, qui fonctionnent sur des principes qui peuvent fortement diverger de l'un à l'autre.

Construction	Application/fluides	Avantages et inconvénients
Échangeur de chaleur coaxial 	■ utilisation à faible puissance de refroidissement/puissance de chauffe ■ transfert entre deux liquides ■ adaptation aux fluides de viscosité élevée	Avantages ■ construction simple ■ transfert possible des pressions élevées ■ entretien facile Inconvénients ■ construction de grande taille, coûts élevés par surface de transfert de chaleur
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire  	■ utilisation sur une très large plage de température et de pression ■ transfert entre liquides et gaz, entre deux liquides ou entre deux gaz	Avantages ■ montage facile ■ idéal pour le transfert de chaleur de la vapeur vers l'eau Inconvénients ■ construction volumineuse
Échangeur de chaleur à plaques 	■ utilisation également avec des différentiels de température minimes ■ transfert entre liquides et gaz, entre deux liquides ou entre deux gaz ■ avec ou sans changement de phase	Avantages ■ vaste surface de transfert grâce à l'embossage de la surface de la plaque ■ construction compacte, faible quantité de remplissage ■ bon transfert de chaleur convectif par écoulement turbulent Inconvénients ■ perte de charge élevée ■ nécessite beaucoup d'entretien

Transfert de chaleur

Le flux thermique total transféré dépend directement de la surface de transfert. C'est pourquoi on utilise différentes géométries de parois (rainures p.ex.) visant à augmenter la surface de transfert. Le transfert de chaleur se fait en trois étapes: le transfert de chaleur convectif du fluide chaud en direction de la paroi, la conduction thermique à travers la paroi, et le transfert de chaleur convectif de la paroi vers le fluide froid.

Le transfert de chaleur convectif du fluide vers la paroi et de la paroi vers le fluide dépend entre autres du type de matière, de la vitesse d'écoulement et des états physiques des fluides. La conduction thermique dans la paroi dépend de son épaisseur et du matériau qui la constitue. La conduction thermique est décrite par le coefficient global de transfert de chaleur **k** ou le coefficient global de transfert de chaleur en fonction de la longueur **k***.



1 courbe de température, **2** flux thermique résultant;
fluide chaud, fluide froid,
T température, **L** parcours, **d** épaisseur de la paroi

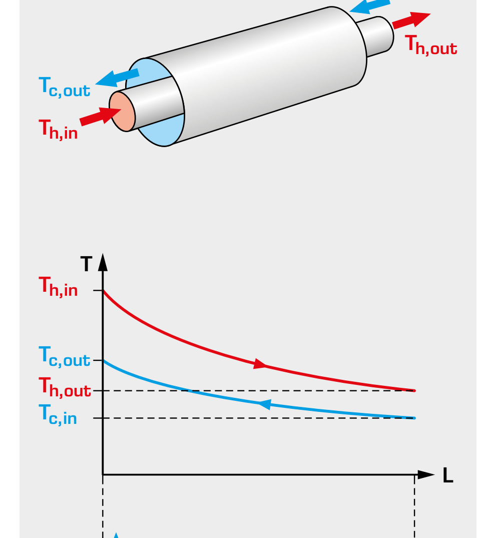
Connaissances de base

Échangeurs de chaleur

Géométries d'écoulement dans l'échangeur de chaleur

La géométrie d'écoulement à l'intérieur de l'appareil peut diverger en fonction de la construction de l'échangeur de chaleur. Cependant, les deux flux de fluide ne sont jamais mélangés, seul un transfert de chaleur a lieu entre les deux.

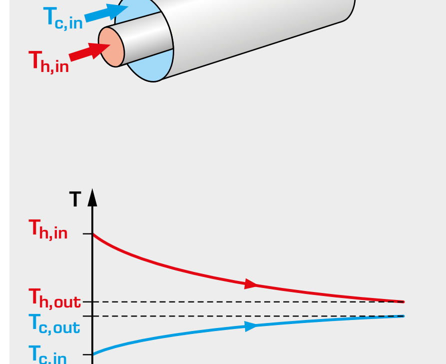
Les géométries d'écoulement possibles sont les suivantes: écoulements à contre-courant, à courant parallèle, croisés ou association des écoulements mentionnés.



Profils de température en **fonctionnement à contre-courant** d'un échangeur de chaleur coaxial

En **fonctionnement à contre-courant**, deux fluides s'écoulent dans des directions opposées sans se toucher. Le lieu d'entrée du premier fluide correspond au lieu de sortie du second fluide.

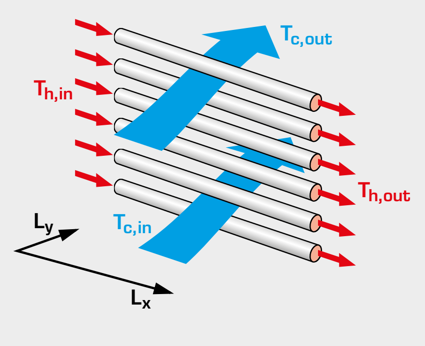
Lorsque l'échangeur de chaleur est très bien conçu, il est possible que la température de sortie soit plus élevée du côté froid que la température de sortie du côté chaud.

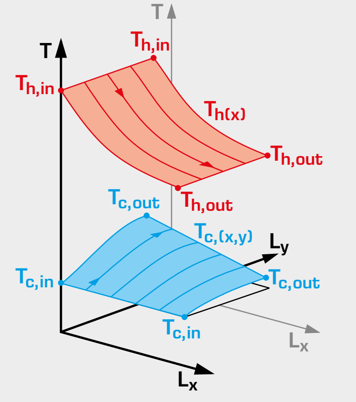


Profils de température en **fonctionnement à courant parallèle** d'un échangeur de chaleur coaxial

Lorsque l'échangeur de chaleur fonctionne à **courant parallèle**, les deux fluides s'écoulent dans la même direction et entrent dans l'échangeur de chaleur au même endroit.

La température de sortie du côté froid peut atteindre au maximum la température de sortie du côté chaud.





Profil de température pour une seule rangée de tubes avec **courants croisés** mélangés d'un côté

En **fonctionnement à courants croisés**, les directions des fluides se croisent.

Le fonctionnement à courants croisés est surtout utilisé pour assurer la thermostatisation exacte de produits sensibles à la température.

Afin de profiter au mieux des avantages présentés par les différentes géométries d'écoulement, on les utilise souvent en association. Ainsi, pour la thermostatisation rapide et fiable de grandes quantités de produits chimiques agressifs, on utilise p.ex. un échangeur de chaleur à faisceaux tubulaires en mode à contre-courant croisé. Les échangeurs de chaleur à plaques fonctionnant à contre-courant sont souvent utilisés lorsque l'on a besoin d'une forme de construction compacte.

Dans la pratique, les échangeurs de chaleur sont **dimensionnés, recalculés** ou **évalués**.

Le **dimensionnement** consiste à calculer la capacité de transfert avec des flux de matière et des températures connus, ce qui permet de déterminer la géométrie d'un échangeur de chaleur optimal.

Dans le cas du **recalcul**, les températures de sortie des fluides et le flux thermique transféré sont déterminés. Cela permet de contrôler dans quelles mesures les températures de sortie de l'échangeur de chaleur sélectionné divergent des températures de sortie requises ou limitatives. Le recalcul d'échangeurs de chaleur existants est également fréquent pour réaliser une comparaison avec les données de mesure réelles.

L'évaluation permet de se renseigner sur le surdimensionnement ou le sous-dimensionnement de l'échangeur de chaleur choisi en cas d'intégration dans le procédé. Lors de l'évaluation d'un échangeur de chaleur, on observe ses données géométriques ainsi que toutes les données de procédé.

Le chapitre "Échangeurs de chaleur" traite en premier lieu du transfert de chaleur convectif entre la surface d'un corps et un fluide. Il présente ensuite des échangeurs de chaleur indirects, des récupérateurs, et leurs différentes constructions, ainsi qu'une tour de refroidissement par voie humide en tant qu'exemple d'échangeur de chaleur direct. On notera la particularité du transfert de chaleur au moyen de la technique des solides fluidisés, qui est étudiée ici en prenant comme exemple le réacteur à lit fluidisé.

Thématiques	Produits GUNT
Transfert de chaleur	
Convection forcée	WL 314
Écoulement parallèle	WL 314.01
Écoulement mixte	WL 314.02
Profils d'écoulement	WL 314.03
Transfert de chaleur indirect – récupérateurs	
Échangeur de chaleur tubulaire	WL 312.01
Échangeur de chaleur coaxial	WL 302, WL 308, WL 110.01, WL 315C
Échangeur de chaleur à plaques	WL 110.02, WL 315C
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	WL 110.03, WL 315C
Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin	WL 110.04, WL 315C
Échangeur de chaleur à ailettes	ET 300, WL 312.02, WL 312.03, WL 315C
Transfert de chaleur direct	
Tour de refroidissement par voie humide	WL 320
Transfert de chaleur dans un lit fluidisé	
Transfert de chaleur dans un lit fluidisé	WL 225

WL 314

Transfert de chaleur convectif dans un écoulement d'air



Description

- **transfert de chaleur convectif sur des échangeurs ayant des géométries différentes**
- **autres modèles d'échangeurs de chaleur disponibles comme accessoires**

On appelle transfert de chaleur convectif le transfert de chaleur entre une surface et un fluide. Les processus de transfert de chaleur convectif sont associés aux mouvements du fluide, c'est-à-dire à la convection. Dans le cas de la convection forcée, le fluide est amené par une pompe ou un ventilateur sur les surfaces de transfert, tandis que dans le cas de la convection libre, l'écoulement ne se produit que sous l'effet du différentiel de densité du fluide chauffé.

Le WL 314 et ses accessoires permettent d'étudier le transfert de chaleur convectif avec différentes géométries de la surface de transfert. Des modèles typiques tels que le faisceau tubulaire, le tube chauffé de l'extérieur et le cylindre chauffé de l'intérieur sont observés. Il est en plus possible de montrer l'effet de cheminée à l'intérieur d'un puits de ventilation lors de la convection libre.

La section de mesure est un conduit d'air avec ventilateur, dans lequel le modèle d'échangeur de chaleur peut être fixé facilement et rapidement à l'aide d'attaches rapides. L'air passe devant le modèle, se chauffe et sort par un puits de ventilation. Dans le conduit d'air, un élément d'entrée favorable à l'écoulement assure un écoulement homogène pour la réalisation des essais. Le débit volumétrique est ajusté par une vanne papillon située à la sortie du ventilateur. Pour permettre d'observer les essais, le conduit d'air est muni de deux fenêtres.

Le modèle compris dans la liste de livraison d'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire comprend deux faisceaux tubulaires échangeables de géométries différentes. Un thermoplongeur, qui peut être placé n'importe où dans le faisceau tubulaire, simule un tube chauffé. Le transfert de chaleur convectif peut ainsi être déterminé en fonction de la position du tube. D'autres modèles sont disponibles en tant qu'accessoires.

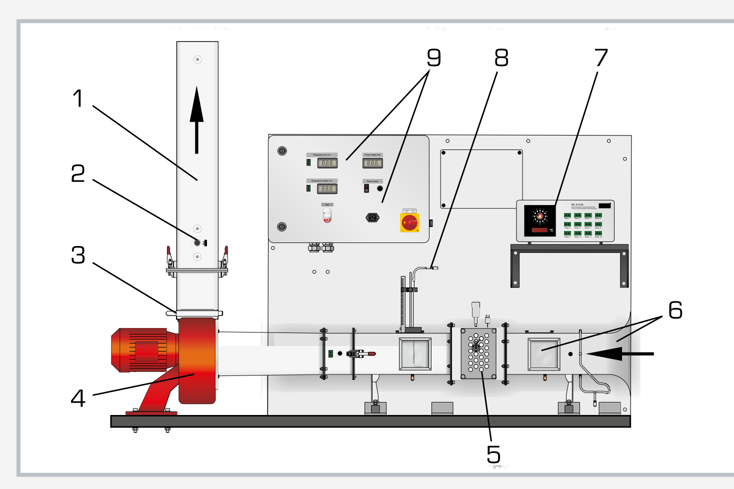
Un tube de Pitot et un appareil de mesure de pression permettent de déterminer la distribution de la vitesse devant et derrière les modèles. La puissance de chauffe et le débit volumétrique peuvent être ajustés. La puissance de chauffe et les températures de l'air et du dispositif de chauffage sont affichées numériquement.

Contenu didactique/essais

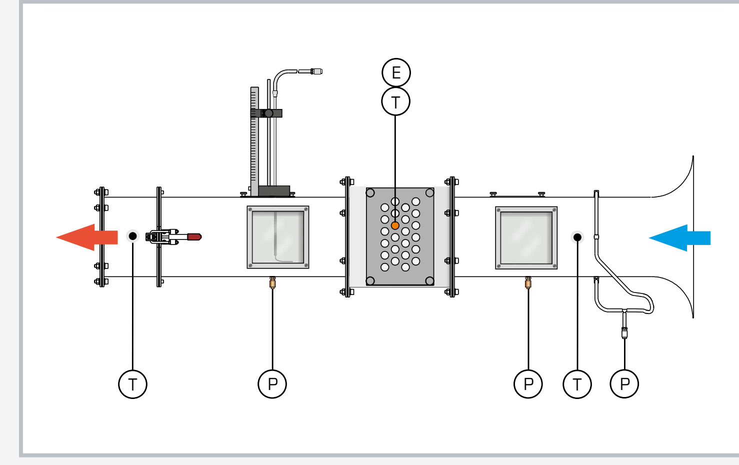
- relations entre le nombre de Nusselt, le nombre de Reynolds et le flux thermique
- mesure de la distribution de pression dans le conduit d'air et développement du profil de vitesse
- mesure du transfert de chaleur convectif sur le faisceau tubulaire en fonction de la position
- perte de pression dans le faisceau tubulaire
- mesure du transfert de chaleur convectif en cas de convection libre dans le puits de ventilation (effet de cheminée)

WL 314

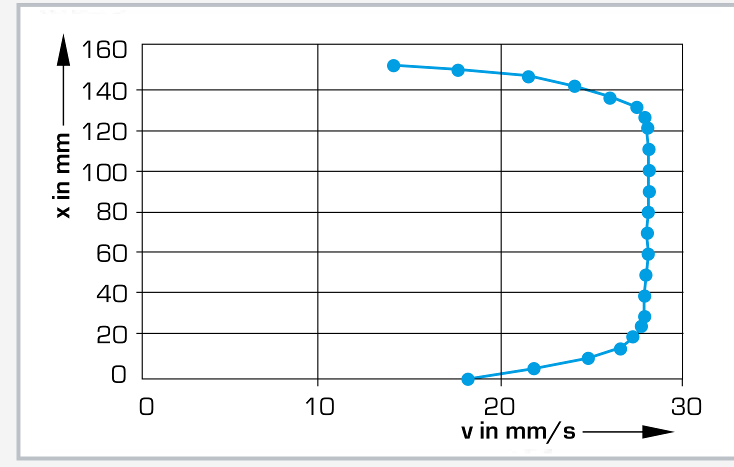
Transfert de chaleur convectif dans un écoulement d'air



1 puits de ventilation, 2 thermoplongeur dans le puits de ventilation, 3 vanne papillon, 4 ventilateur, 5 modèle échangeable d'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire avec thermoplongeur, 6 conduit d'air avec fenêtres, 7 amplificateur de mesure pour accessoire WL 314.03, 8 tube de Pitot mobile, 9 éléments d'affichage et de commande



Disposition des points de mesure dans le conduit d'air:
T température, P pression, E puissance du thermoplongeur



Profil de vitesse dans le conduit d'air
v vitesse, x distance

Spécification

[1] transfert de chaleur convectif en cas de convection forcée
[2] conduit d'air avec entrée favorable à l'écoulement et fenêtres pour l'observation des essais
[3] faisceaux tubulaires échangeables avec deux diamètres différents compris dans la liste de livraison
[4] thermoplongeur de Ø 10mm ou Ø 13mm insérable à la position souhaitée dans le faisceau tubulaire
[5] un puits de ventilation permet la réalisation d'essais sur la convection libre et la démonstration de l'effet de cheminée
[6] thermoplongeur de Ø 10mm insérable dans le puits de ventilation
[7] thermoplongeurs protégés contre la surchauffe
[8] débit volumétrique d'air ajustable
[9] tube de Pitot mobile avec appareil de mesure de pression pour la détermination d'un profil de vitesse dans le cas d'une convection forcée
[10] affichage de la température de l'air, de la température de chauffe et de la puissance de chauffe
[11] autres modèles disponibles comme accessoires

Caractéristiques techniques

Conduit d'air
- section transversale d'écoulement: 150x150mm
- longueur: 1540mm

Ventilateur
- puissance: 1,5kW
- débit volumétrique max.: 2160m^3/h

Faisceau tubulaire
- 23x tube (Ø 10mm)
- 23x tube (Ø 13mm)

2 thermoplongeurs
- longueur: 130mm
- puissance: 220W (Ø 10mm)
- puissance: 250W (Ø 13mm)
- protection contre la surchauffe à 80°C

Plages de mesure
- pression: ±200mmbar
- température: 2x max. 80°C
- puissance: 0...400W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1930x800x2000mm
Poids: env. 205kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu de câbles
1 jeu de flexibles
1 appareil de mesure de la pression
1 appareil d'affichage et de commande
1 documentation didactique

WL 314.01

Transfert de chaleur convectif dans des tubes avec un écoulement parallèle



Description

- **deux éléments chauffants permettant différentes observations du transfert de chaleur convectif**
- **éléments chauffants parallèles à l'écoulement dans le tube**

L'accessoire WL 314.01 permet d'étendre les possibilités d'essai du WL 314 à la thématique: transfert de chaleur convectif à l'intérieur d'un tube et sur un tube, dans le cas d'un écoulement parallèle. On observe alors le transfert de chaleur convectif de la paroi du tube en direction du fluide.

L'élément principal du WL 314.01 est une section de tube transparente équipée d'un radiateur annulaire et d'un thermoplongeur, pour permettre d'observer différents aspects du transfert de chaleur convectif. Les éléments chauffants associés à la section de tube constituent un échangeur de chaleur coaxial.

Le radiateur annulaire permet d'étudier le transfert de chaleur convectif de la paroi extérieure en direction de l'intérieur du tube. Un thermoplongeur parallèle à l'axe du tube permet l'observation du transfert de chaleur convectif d'un tube intérieur chauffé en direction du tube extérieur. Les éléments chauffants sont disposés parallèlement à l'écoulement dans le tube.

L'accessoire est fixé dans le conduit d'air du WL 314 à l'aide d'attaches rapides. Un ventilateur situé dans le conduit d'air aspire l'air ambiant, et le transporte à travers la section de tube de l'accessoire. L'air est conduit par convection forcée sur les surfaces de transfert et se chauffe.

La puissance et la température de surface des deux dispositifs de chauffage électriques sont mesurées et affichées sur le banc d'essai du WL 314.

Contenu didactique/essais

- transfert de chaleur à l'intérieur et autour d'un tube
- comparaison du transfert de chaleur convectif sur un radiateur annulaire et un thermoplongeur
- observation des relations entre le nombre de Nusselt, le nombre de Reynolds et le flux thermique
- calcul du coefficient de transfert de chaleur
- détermination de la vitesse d'écoulement

Spécification

[1] les éléments chauffants et la section de tube forment un échangeur de chaleur coaxial
[2] radiateur annulaire comme tube partiellement chauffé
[3] thermoplongeur comme tube intérieur chauffé
[4] éléments chauffants disposés parallèlement à l'écoulement
[5] 2 thermocouples de type K: mesure à la surface du thermoplongeur et sur la surface intérieure du radiateur annulaire
[6] protection contre la surchauffe du WL 314
[7] montage de l'accessoire dans le WL 314 à l'aide d'attaches rapides

Caractéristiques techniques

Section de tuyau
- Ø 60mm

Radiateur annulaire
- puissance: 220W
- Ø 60mm
- longueur: 30mm

Thermoplongeur
- puissance: 250W
- Ø 8mm
- longueur: 130mm

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1050x210x320mm
Poids: env. 10kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 documentation didactique

WL 314.02

Transfert de chaleur convectif dans des tubes avec un écoulement mélangé



Description

- **transfert de chaleur dans un faisceau tubulaire**
- **modèle d'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire avec déflecteurs**

L'accessoire WL 314.02 permet d'étendre les possibilités d'essai du WL 314 à la thématique: transfert de chaleur convectif avec un écoulement mélangé. On observe alors le transfert de chaleur convectif de la paroi du tube en direction du fluide.

L'élément principal du WL 314.02 est une section de tube transparente équipée d'un radiateur annulaire et d'un thermoplongeur, pour permettre l'observation de différents aspects du transfert de chaleur convectif. Un thermoplongeur situé au centre du faisceau tubulaire simule un tube chauffé. Le faisceau tubulaire associé à la section de tube constitue un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire. L'essai permet d'observer le transfert de chaleur convectif entre le tube et le fluide.

L'accessoire est fixé dans le conduit d'air du WL 314 à l'aide d'attaches rapides. Un ventilateur situé dans le conduit d'air aspire l'air ambiant, et le transporte à travers la section de tube de l'accessoire. L'air est conduit par convection forcée sur les surfaces de transfert et se chauffe. La section de tube est conçue de manière à permettre le transport de l'air mélangé par des déflecteurs à travers le faisceau tubulaire. Il est possible d'ajouter ou retirer des déflecteurs pour varier le nombre de déviations.

La puissance et la température de surface sur l'enveloppe du thermoplongeur sont mesurées et affichées sur le banc d'essai WL 314.

Contenu didactique/essais

- transfert de chaleur de la paroi du tube en direction du fluide
- relations entre le nombre de Nusselt, le nombre de Reynolds et le flux thermique
- caractéristique des échangeurs de chaleur à faisceau tubulaire
- perte de charge sur l'ensemble de la section de mesure
- détermination du coefficient de transfert de chaleur

Spécification

[1] section de tube et faisceau tubulaire avec thermoplongeur forment un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire
[2] échangeur de chaleur à faisceau tubulaire avec 18 tubes non chauffés et un thermoplongeur au centre qui fait office de tube chauffé
[3] jusqu'à 8 déflecteurs acheminent l'air mélangé à travers le faisceau tubulaire
[4] thermocouple de type K: mesure de la température sur l'enveloppe du thermoplongeur
[5] fixation des accessoires sur le WL 314 à l'aide d'attaches rapides

Caractéristiques techniques

Section de tuyau
- Ø 100mm

Thermoplongeur
- puissance: 250W
- surface de transfert de chaleur: 0,011m^2

Faisceau tubulaire
- 18 tubes
- surface de transfert de chaleur par tube: 0,011m^2

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1050x210x320mm
Poids: env. 15kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 documentation didactique



WL 314.03

Transfert de chaleur convectif à l'intérieur d'un tube



Description

- **écoulement dans un tube chauffé depuis l'extérieur**
- **transfert de chaleur convectif dans la section transversale du tube et dans le profil longitudinal du tube**

L'accessoire WL 314.03 permet d'étendre les possibilités d'essai du WL 314 à la thématique: transfert de chaleur convectif à l'intérieur d'un tube. On observe alors le transfert de chaleur convectif de la paroi du tube en direction du fluide en écoulement parallèle.

L'élément principal du WL 314.03 est une section de tube équipée d'une natte chauffante qui chauffe l'enveloppe du tube depuis l'extérieur. La paroi du tube est pourvue de six points de mesure de la température. Un tube de Pitot permet de mesurer la distribution de la vitesse dans la section transversale du tube.

L'accessoire est fixé dans le conduit d'air du WL 314 à l'aide d'attaches rapides. Un ventilateur situé dans le conduit d'air aspire l'air ambiant, et le transporte à travers la section de tube de l'accessoire. L'air est conduit par convection forcée sur les surfaces de transfert et se chauffe.

La puissance et la température de surface de la natte chauffante, ainsi que les températures de la paroi du tube, sont mesurées et affichées sur le banc d'essai du WL 314.

Contenu didactique/essais

- transfert de chaleur de l'enveloppe du tube en direction du fluide
- courbe de température le long du tube
- observation des relations entre le nombre de Nusselt, le nombre de Reynolds et le flux thermique
- calcul du coefficient de transfert de chaleur
- détermination de la vitesse d'écoulement

Spécification

[1] section de tube chauffée comme échangeur de chaleur à tubes
[2] tube chauffé de l'extérieur par une natte chauffante
[3] 6 thermocouples de type K: mesure dans la paroi du tube
[4] 1 thermocouple de type K: mesure sur une natte chauffante
[5] tube de Pitot mobile pour la détermination d'un profil de vitesse
[6] montage de l'accessoire sur le WL 314 à l'aide d'attaches rapides

Caractéristiques techniques

Section de tube
- Ø 32mm
- longueur: 0,5m
- surface de transfert de chaleur: 0,0503m²

Natte chauffante
- puissance: 250W
- longueur: 500mm
- Ø 35mm
- limitation de température: 120°C

Lxlxh: 1050x210x320mm
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 amplificateur de mesure
1 documentation didactique



Nous prenons la qualité au sérieux

Notre système de gestion de la qualité est certifié depuis 1998.



WL 308

Transfert de chaleur dans un écoulement tubulaire



Description

- **modèle d'échangeur de chaleur coaxial**
- **fonctionnement de l'échangeur de chaleur possible à courant parallèle et à contre-courant**
- **points de mesure de la température sur les parois du tube intérieur et dans l'écoulement**
- **circuit d'eau chaude avec régulateur de température**

Le transfert de chaleur convectif lors d'un écoulement tubulaire, est déterminé par les processus d'écoulement à l'intérieur des tubes et par les processus de conduction de chaleur sur les parois des tubes. L'appareil d'essai WL 308 permet d'observer les transferts de chaleur convectifs sur la paroi des tubes et à l'intérieur des tubes sur le modèle d'un échangeur de chaleur coaxial. Les essais permettent de montrer le fonctionnement à courant parallèle, ainsi que le fonctionnement à contre-courant avec ses différentes courbes de température.

L'élément central du banc d'essai est un double tube qui sert d'échangeur de chaleur. De l'eau chaude est pompée à travers le tube intérieur. De l'eau froide s'écoule à courant parallèle ou à contre-courant dans le tube extérieur. L'eau chaude libère alors une partie de son énergie thermique à l'eau froide.

La courbe de température non linéaire le long de l'échangeur de chaleur coaxial est obtenue en mesurant les températures de l'eau dans les deux tubes à l'entrée, à la sortie et à mi-parcours du transfert. Une mesure de la température sur les parois du tube intérieur à mi-parcours du transfert permet, en outre, d'étudier le transfert de chaleur convectif sur ces dernières.

Le circuit d'eau chaude fermé comprend un réservoir avec chauffage électrique et une pompe. L'alimentation en eau froide et l'évacuation se font par l'intermédiaire du réseau du laboratoire. Le débit d'eau chaude et d'eau froide est ajusté par des soupapes.

Le débit ainsi que toutes les températures utiles sont enregistrés et affichés sur l'appareil d'essai.

Contenu didactique/essais

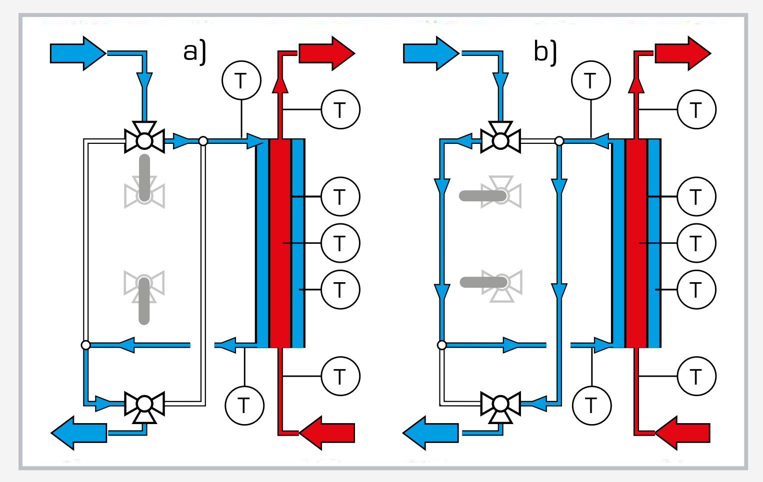
- enregistrement de courbes de température
  - en fonctionnement à courant parallèle
  - en fonctionnement à contre-courant
- transfert de chaleur convectif sur les parois des tubes et dans l'écoulement
- influence des débits massiques sur la courbe de température
- établissement des bilans thermiques
- détermination des coefficients globaux de transfert de chaleur

WL 308

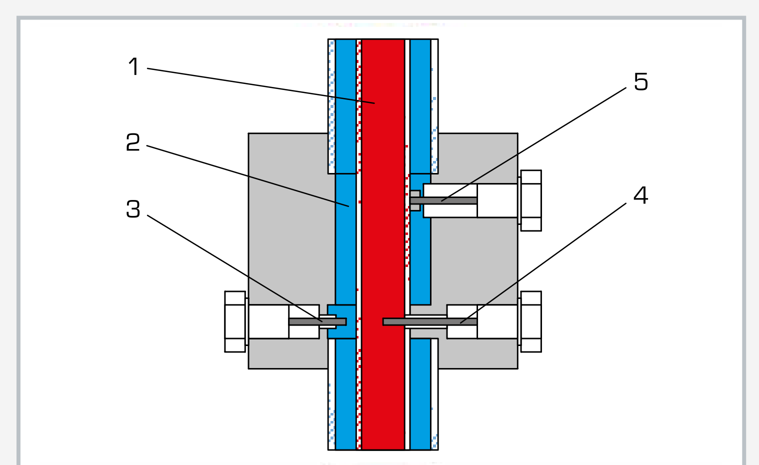
Transfert de chaleur dans un écoulement tubulaire



1 robinet à 3 voies pour l'ajustage du mode de fonctionnement, 2 double tube comme échangeur de chaleur avec capteurs de température, 3 débitmètre pour l'eau froide, 4 soupapes d'ajustage du débit, 5 raccordement et évacuation d'eau froide, 6 raccordement d'eau chaude, 7 régulateur de température, 8 pompe, 9 éléments d'affichage et de commande, 10 débitmètre d'eau chaude, 11 dispositif de chauffage, 12 réservoir d'eau chaude



a) fonctionnement à contre-courant, b) fonctionnement à courant parallèle; bleu: eau froide, rouge: eau chaude, T température



1 eau chaude, 2 eau froide, 3 point de mesure de la température de l'eau froide, 4 points de mesure de la température de l'eau chaude, 5 point de mesure de la température sur les parois du tube intérieur

Spécification

[1] transfert de chaleur convectif sur les parois des tubes et dans l'écoulement sur le modèle d'un échangeur de chaleur coaxial
[2] fonctionnement à courant parallèle ou à contre-courant ajustable par des robinets à 3 voies
[3] circuit d'eau chaude fermé, isolé, avec pompe, dispositif de chauffage et régulateur de température
[4] débit constant d'eau chaude grâce à l'ajustage d'un bypass
[5] débits ajustables par des soupapes
[6] capteurs de température: températures d'entrée, de sortie et températures à mi-parcours du transfert
[7] mesure supplémentaire de la température sur les parois du tube intérieur à mi-parcours
[8] débitmètre respectivement pour l'eau chaude et pour l'eau froide

Caractéristiques techniques

Surface de transfert de chaleur
- surface de transfert moyenne: 0,013m²

Tube intérieur, cuivre
- 8x1mm

Pompe
- débit de refoulement max.: 4m³/h
- hauteur de refoulement max.: 4m

Dispositif de chauffage: 3kW, avec protection contre la surchauffe
Réservoir: 6,5L

Plages de mesure
- débit: 2x 20...250L/h
- température: 7x 0...100°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x580x1070mm
Poids: env. 50kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau froide, drain

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique

WL 302
Transfert de chaleur dans l'échangeur de chaleur coaxial



Contenu didactique/essais

- enregistrement de courbes de température
  - en fonctionnement à courant parallèle
  - en fonctionnement à contre-courant
- calcul du flux thermique moyen en fonctionnement à courant parallèle et à contre courant
- calcul du coefficient de transfert de chaleur moyen

Description

- **modèle d'échangeur de chaleur coaxial**
- **fonctionnement de l'échangeur de chaleur possible à courant parallèle et à contre-courant**

Les échangeurs de chaleur coaxiaux représentent la forme la plus simple des échangeurs de chaleur, et sont utilisés en priorité pour le transfert de chaleur en cas de différences de pression importantes, ou entre des fluides de viscosité élevée (p.ex. boues d'épuration). Ils présentent l'avantage d'offrir un écoulement uniforme sans zones mortes à travers l'espace du tube.

Le banc d'essai WL 302 permet d'étudier les propriétés caractéristiques d'un transfert de chaleur sur le modèle d'un échangeur de chaleur coaxial. Le transfert de chaleur a lieu dans des tubes disposés de manière coaxiale, l'eau chaude passant par le tube intérieur. L'eau froide passe dans le tube extérieur. L'eau chaude libère alors une partie de son énergie thermique à l'eau froide.

On peut démontrer dans le cadre des essais, aussi bien le fonctionnement à courant parallèle, que celui à contre-courant avec ses différentes courbes de température.

La courbe de température non linéaire, le long de l'échangeur de chaleur coaxial, est obtenue en mesurant les températures de l'eau dans les deux tubes à l'entrée, à la sortie et à mi-parcours du transfert. Une mesure de la température sur les parois du tube permet, en outre, d'étudier le transfert de chaleur convectif sur ces dernières. Les grandeurs importantes telles que le flux thermique, le coefficient global de transfert de chaleur et les pertes de chaleur sont déterminées lors de l'évaluation de l'essai.

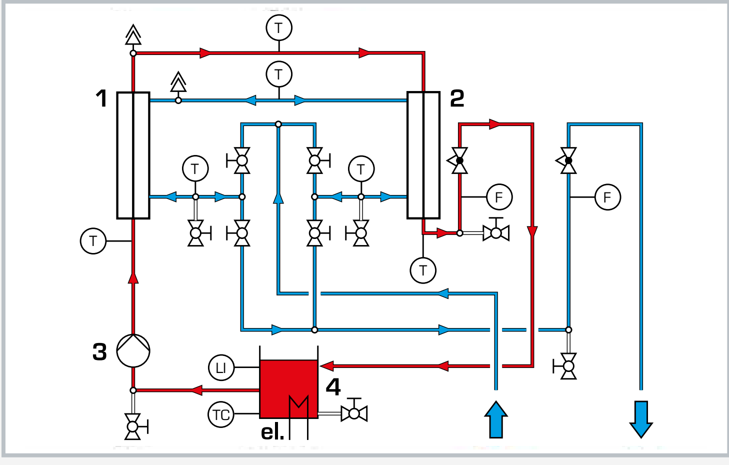
Le circuit d'eau chaude fermé comprend un réservoir avec chauffage électrique et une pompe. Un thermostat maintient constante la température de l'eau chaude. L'alimentation en eau froide et l'évacuation se font par l'intermédiaire du réseau du laboratoire.

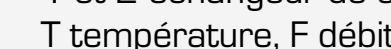
Le débit ainsi que toutes les températures utiles sont enregistrés. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

WL 302
Transfert de chaleur dans l'échangeur de chaleur coaxial

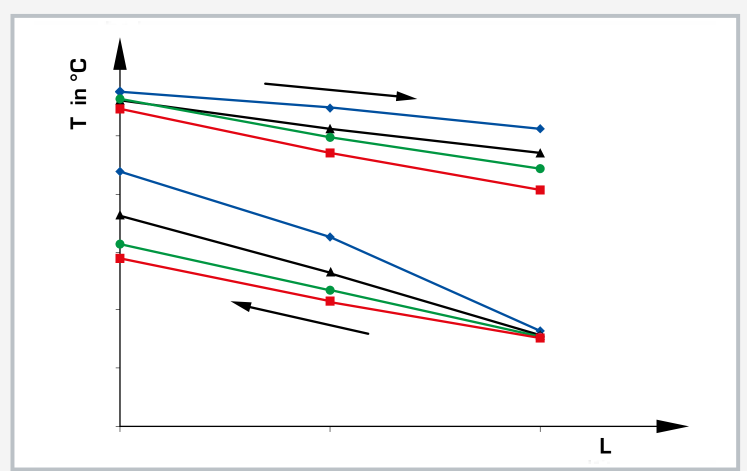


1 soupape de purge, 2 capteur de température, 3 échangeurs de chaleur, 4 robinet à tournant sphérique avec ajustage du mode de fonctionnement, 5 réservoir avec dispositif de chauffage, 6 pompe, 7 raccords d'eau, 8 débitmètre, 9 soupape d'ajustage du débit, 10 éléments d'affichage et de commande





1 et 2 échangeur de chaleur, 3 pompe, 4 réservoir;
T température, F débit



Profil de température en fonctionnement à contre-courant avec différents débits d'eau froide et débit d'eau chaude constant

Spécification

[1] transfert de chaleur convectif sur le modèle d'un échangeur de chaleur coaxial
[2] fonctionnement à courant parallèle ou à contre-courant ajustable au moyen de robinets à tournant sphérique
[3] circuit d'eau chaude fermé, isolé, avec réservoir, pompe et dispositif de chauffage avec thermostat
[4] capteurs de température: températures d'entrée, températures de sortie et températures à mi-parcours de l'échangeur de chaleur
[5] mesure du débit par 2 capteurs de débit avec roues à ailettes
[6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Pompe
- puissance absorbée: 70W
- débit de refoulement max.: 3300L/h
- hauteur de refoulement max.: 4m

Dispositif de chauffage
- puissance: 2kW

Thermostat: 20...85°C

Surfaces de transfert de chaleur
- côté chaud: 0,0306m^2
- côte froid: 0,0402m^2
- surface de transfert moyenne: 0,0354m^2

Réservoir: 20L

Plages de mesure
- température: 6x 0...100°C
- débit: 2x 0...360L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase, 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1380x790x1950mm
Poids: env. 165kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau froide: min. 150L/h
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 315.01
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire vapeur/eau



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec le processus de transfert de chaleur entre la vapeur et l'air
- calcul des flux thermiques de la vapeur et de l'air
- détermination du rendement et des pertes
- détermination du coefficient global de transfert de chaleur

Description

- **transfert de chaleur convectif entre la vapeur et l'eau**
- **régulation thermostatique de la vapeur**

La vapeur est un bon agent caloporteur pour le chauffage des fluides. La pression de vapeur permet de limiter la température maximum, pour un chauffage sans risques des fluides sensibles. Comme échangeur de chaleur, on peut utiliser par exemple un faisceau tubulaire. La vapeur se condense et libère sa chaleur de condensation au fluide à chauffer. Le condensat peut ensuite retourner dans le cycle de vapeur.

Le banc d'essai WL 315.01 permet d'étudier le transfert de chaleur convectif entre la vapeur et l'eau. L'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire constitue l'élément principal du banc d'essai. La vapeur de chauffage contenue dans l'enveloppe du tube et l'eau froide se trouvant dans les tubes se croisent en fonctionnement à contre-courant. La vapeur de chauffage cède ainsi une partie de son énergie thermique à l'eau froide. L'eau chauffée s'écoule dans un réservoir où elle peut être prélevée.

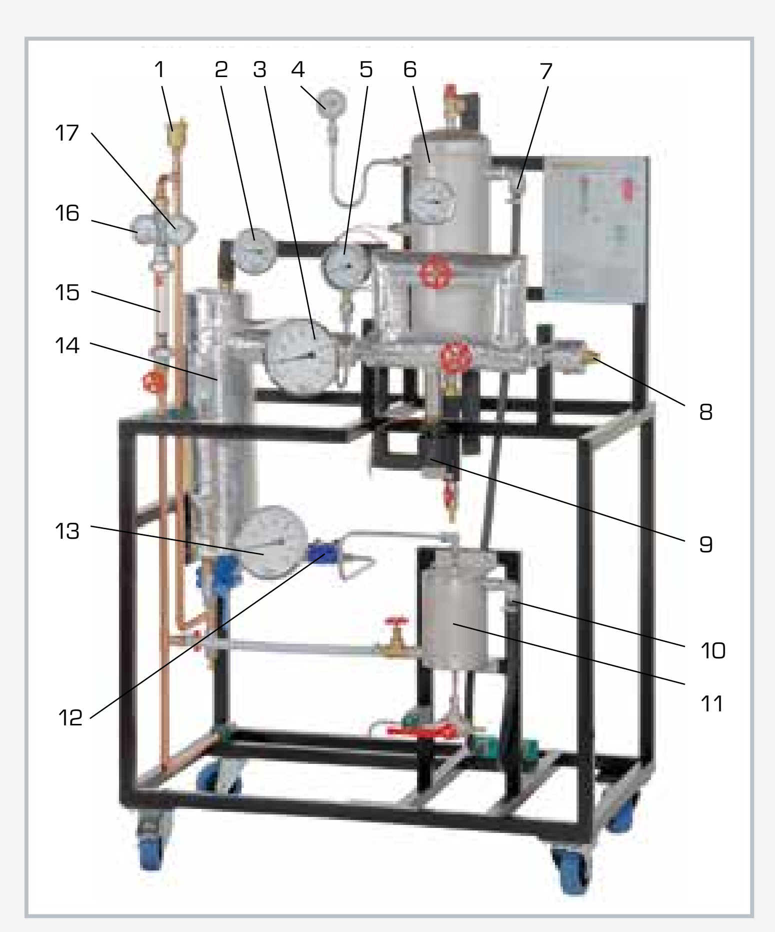
Un séparateur de vapeur et un deuxième échangeur de chaleur plus petit, qui sert de condenseur pour la condensation de la vapeur de détente, se trouvent dans la conduite de vapeur, après l'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire.

La quantité de vapeur introduite est régulée par une vanne thermostatique de manière à ce que la température de l'eau du réservoir d'eau chaude soit à la température souhaitée. Parallèlement à la vanne thermostatique et à la soupape d'arrêt, il est possible d'acheminer manuellement la vapeur de chauffage à l'aide d'une soupape manuelle dans l'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire. Il est possible d'ajuster le débit du circuit d'eau froide. Un collecteur d'impuretés, situé à l'entrée de la vapeur de chauffage, permet de prévenir l'entrée de particules grossières dans les tubes de vapeur. Le réservoir d'eau chaude est équipé d'une soupape de sécurité qui protège le système des surpressions.

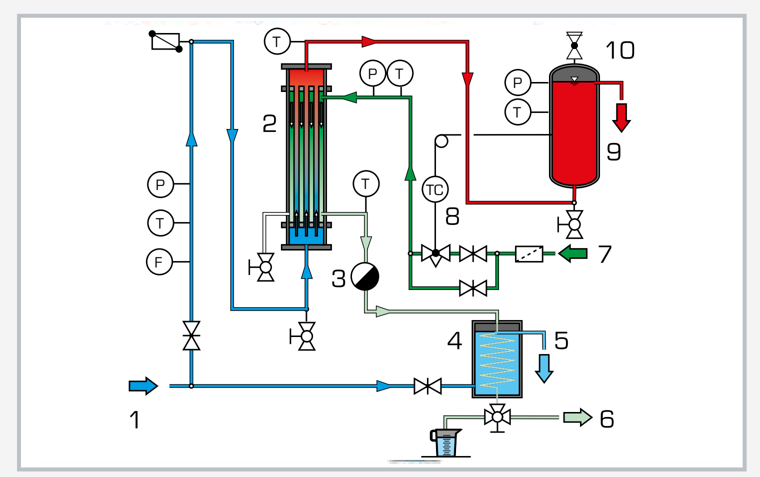
La mesure des températures, pressions, débits et de condensat permet de déterminer les énergies, les rendements et le coefficient de transfert de chaleur global.

L'alimentation en vapeur de chauffage est assurée soit par le réseau du laboratoire, soit à l'aide de l'accessoire WL 315.02.

WL 315.01
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire vapeur/eau



1 soupape de purge dans le circuit d'eau froide, 2 thermomètre pour l'eau chaude, 3 thermomètre pour la vapeur, 4 manomètre pour l'eau chaude, 5 manomètre pour la vapeur, 6 réservoir d'eau chaude avec thermomètre et soupape de sécurité, 7 prélèvement d'eau chaude, 8 raccord de vapeur, 9 vanne thermostatique, 10 sortie d'eau froide, 11 condenseur, 12 séparateur de condensat, 13 thermomètre de la vapeur après le condenseur, 14 échangeur de chaleur à faisceau tubulaire, 15 débitmètre, 16 thermomètre pour l'eau froide, 17 manomètre pour l'eau froide



1 entrée de l'eau froide, 2 échangeur de chaleur à faisceau tubulaire, 3 séparateur de condensat, 4 condenseur, 5 sortie de l'eau froide, 6 prélèvement de condensat, 7 entrée de la vapeur, 8 vanne thermostatique, 9 prélèvement d'eau chaude, 10 réservoir d'eau chaude avec soupape de sécurité; P pression, T température, F débit, TC thermostat; bleu: eau froide, rouge: eau chaude, vert: vapeur, vert clair: condensat, bleu clair: eau de refroidissement

Spécification

[1] échangeur de chaleur à faisceau tubulaire pour l'étude du transfert de chaleur convectif entre la vapeur et l'eau en fonctionnement à contre-courant
[2] régulation de la quantité de vapeur au moyen d'une vanne thermostatique
[3] soupape manuelle supplémentaire pour l'introduction de la vapeur de chauffage dans l'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire
[4] détermination précise de la quantité de vapeur par la mesure du condensat
[5] soupape de sécurité dans le réservoir d'eau chaude pour un fonctionnement sécurisé
[6] mesure des températures, pressions, débits et de la quantité de condensat
[7] alimentation en vapeur de chauffage par le réseau du laboratoire ou par le WL 315.02

Caractéristiques techniques

Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire
- surface de transfert de chaleur: 0,178m^2
- puissance: 14,6kW
- tubes: 12 unités, acier
  - Ø 12mm
  - longueur: 0,605m

Vapeur
- consommation: 13kg/h
- pression de vapeur saturée max.: 7bar

Thermostat de régulation de la vapeur: 50...120°C

Bécher de mesure du condensat: 250mL

Plages de mesure
- débit: 40...400L/h
- température: 3x 0...120°C, 1x 0...160°C
- pression: 1x -1...9bar, 2x 0...4bar

LxIxh: 1010x610x1630mm
Poids: env. 85kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain 400L/h
vapeur 13kg/h, pression: 7bar

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique

ET 300
Échangeur de chaleur tube à ailettes eau/air



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec le processus de transfert de chaleur entre l'eau et l'air
- calcul des flux thermiques de l'eau et de l'air
- détermination du rendement et des pertes
- bilans énergétiques au niveau de l'échangeur de chaleur
- enregistrement d'une caractéristique de pompe

Description

- **transfert de chaleur convectif entre l'eau et l'air**
- **circuit d'eau chaude fermé**

Les échangeurs de chaleur à tubes sont souvent utilisés pour chauffer ou refroidir des fluides gazeux; on peut citer comme exemple le refroidisseur d'air des moteurs à combustion interne. De l'eau chaude circule dans les tubes autour desquels s'écoule un fluide gazeux, comme de l'air froid par exemple. En circulant, le fluide chaud libère une partie de son énergie thermique au fluide froid.

Afin d'augmenter la surface de transfert de chaleur et donc améliorer le transfert de chaleur convectif, les tubes sont munis d'ailettes.

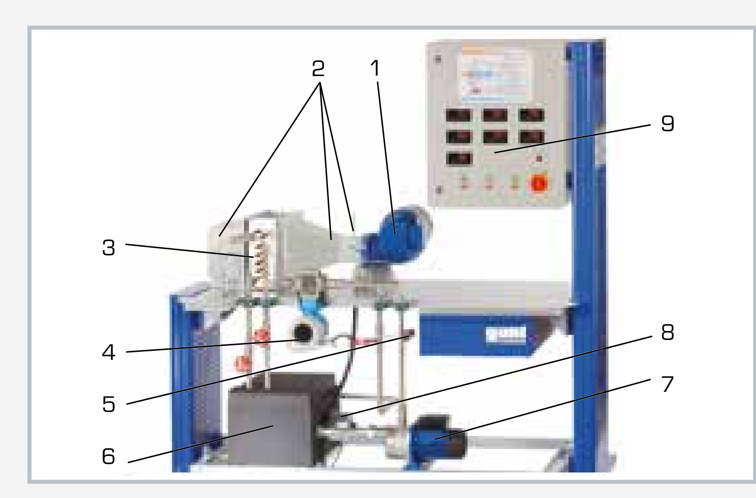
Le banc d'essai ET 300 est utilisé pour réaliser des études quantitatives sur un échangeur de chaleur à ailettes utilisant comme fluides de l'eau chaude et de l'air froid. L'élément central du banc d'essai est un conduit d'air avec ventilateur, dans lequel est installé un échangeur de chaleur à ailettes.

Un élément d'entrée favorable à l'écoulement et un redresseur situé dans le conduit d'air assurent un écoulement homogène pour la réalisation des essais. Le débit volumétrique est ajusté par une vanne papillon située à la sortie du ventilateur, et mesuré par une tuyère de mesure à l'entrée du ventilateur.

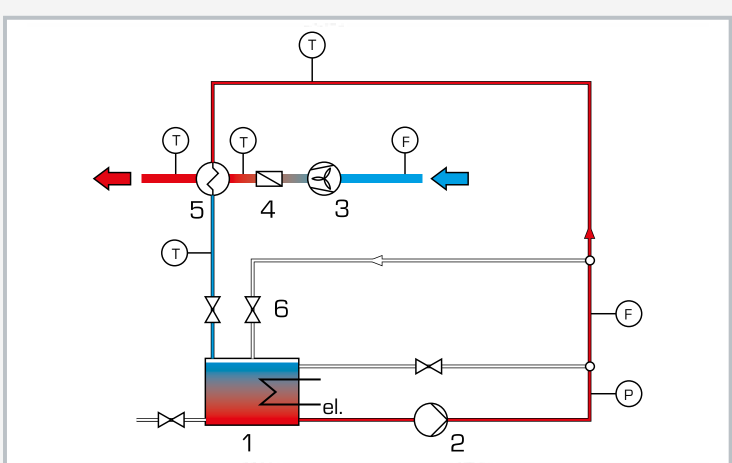
Le banc d'essai dispose d'un circuit d'eau chaude fermé composé des éléments suivants: réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, pompe, débit ajustable, capteur de débit électromagnétique et échangeur de chaleur à ailettes. Le débit peut être ajusté par une soupape.

Il est possible d'établir des bilans énergétiques en mesurant les températures d'entrée et de sortie, ainsi que les débits. Le capteur de pression se trouvant dans le circuit d'eau permet, en outre, d'enregistrer une caractéristique de pompe. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

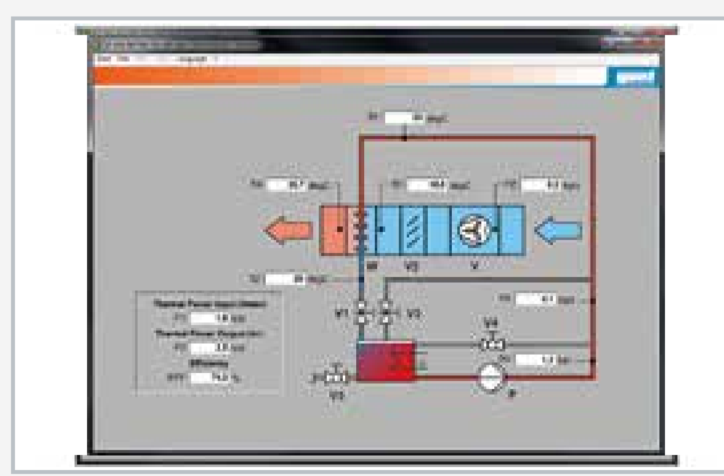
ET 300
Échangeur de chaleur tube à ailettes eau/air



1 ventilateur, 2 conduit d'air avec points de mesure de la température, 3 échangeur de chaleur, 4 débitmètre, 5 capteur de pression, 6 réservoir d'eau, 7 pompe, 8 dispositif de chauffage avec thermostat, 9 éléments d'affichage et de commande



1 réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, 2 pompe, 3 ventilateur, 4 vanne papillon, 5 échangeur de chaleur, 6 soupapes pour l'ajustage de l'essai (échangeur de chaleur ou caractéristique de la pompe); F débit, P pression, T température



Capture d'écran du logiciel

Spécification

[1] échangeur de chaleur à ailettes pour l'étude du transfert de chaleur convectif entre l'eau et l'air
[2] fonctionnement de l'échangeur de chaleur comme chauffeur d'air ou refroidisseur d'eau
[3] circuit d'eau chaude fermé avec dispositif de chauffage électrique, thermostat, réservoir d'eau et pompe
[4] écoulement d'eau et écoulement d'air ajustables
[5] détermination du débit volumétrique de l'air en se servant de la pression différentielle au niveau de la tuyère de mesure
[6] affichage numérique des températures, débits et pression
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Échangeur de chaleur à ailettes
- matériau: Cu/Al
- surface de transfert moyenne: 2,80m^2 (côté air)
- puissance: 2kW
- température de l'eau: 70°C

Pompe
- puissance absorbée: 470W
- débit de refoulement max.: 4,2m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 20,5m

Ventilateur
- puissance absorbée: 0,25kW
- débit de refoulement max.: 13m^3/min
- différentiel de pression max.: 430Pa

Réservoir d'eau: 28L
Dispositif de chauffage: 2kW
Thermostat: max. 80°C

Plages de mesure
- température: 4x 0...100°C
- débit: eau 0...6m^3/h
- pression: eau 0...4bar abs.
- débit massique: air 0...250g/s

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1730x800x1900mm
Poids: env. 220kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

Série WL 110
Échangeurs de chaleur avec unité d'alimentation



Essais portant sur les bases de la transmission de chaleur

Clair, simple, fiable, suivi des progrès d'apprentissage

Unité d'alimentation pour échangeur de chaleur WL 110 avec échangeur de chaleur à faisceau tubulaire WL 110.03

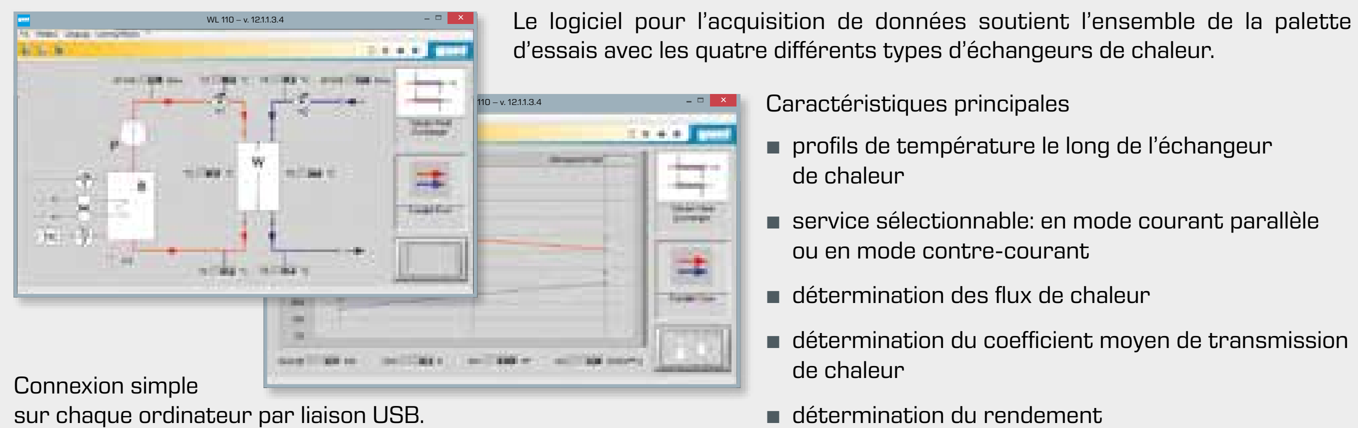
Générateur d'eau froide WL 110.20 pour WL 110



Habituellement, l'eau froide qui est requise pour tous les essais est mise à disposition par le réseau du laboratoire. Si la température ambiante du laboratoire devait être trop élevée, on recommande d'utiliser un générateur d'eau froide afin de créer des conditions d'essais judicieuses.

La réalisation des essais requiert également de l'eau chaude. Celle-ci est mise à disposition par l'unité d'alimentation WL 110.

Logiciel pour l'acquisition de données



Le logiciel pour l'acquisition de données soutient l'ensemble de la palette d'essais avec les quatre différents types d'échangeurs de chaleur.

Caractéristiques principales

- profils de température le long de l'échangeur de chaleur
- service sélectionnable: en mode courant parallèle ou en mode contre-courant
- détermination des flux de chaleur
- détermination du coefficient moyen de transmission de chaleur
- détermination du rendement

Connexion simple sur chaque ordinateur par liaison USB.



L'unité d'alimentation peut accueillir quatre types différents d'échangeurs de chaleur

Le parfait concept d'apprentissage modulaire, flexible, polyvalent

Accessoires échangeables



WL 110.04
Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin

WL 110.01
Échangeur de chaleur coaxial



WL 110.02
Échangeur de chaleur à plaques



WL 110.03
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire

Contenus didactiques

- fonctionnement et comportement en service de différents échangeurs de chaleur
- enregistrement des profils de température
  - en mode courant parallèle
  - en mode contre-courant
- détermination du coefficient de transmission de chaleur moyen
- comparaison de différents types d'échangeurs de chaleur

Avantages didactiques – se prête de manière optimale à des essais réalisés par des élèves

Un petit groupe de 2 à 3 élèves peut facilement réaliser un grand nombre d'essais de manière indépendante.

Le professeur peut montrer à un public plus large des aspects caractéristiques des échangeurs de chaleur à l'aide du logiciel pour l'acquisition de données et d'un projecteur, connecté à un ordinateur.

La documentation didactique bien structurée expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

WL 110
Unité d'alimentation pour échangeurs de chaleur



Description

- **unité d'alimentation pour les différents échangeurs de chaleur (WL 110.01 à WL 110.04)**
- **fonctionnement des échangeurs de chaleur possible à courant parallèle et à contre-courant**

Dans les échangeurs de chaleur, l'énergie thermique d'un écoulement de matières est transmise à un autre écoulement. Les deux écoulements de matières n'entrent pas directement en contact lors de cette opération. Un transfert de chaleur efficace est la condition requise pour des processus rentables. Dans la pratique, on utilise donc, selon les besoins, différents types d'échangeurs de chaleur.

Cet appareil d'essai permet d'étudier et de comparer différents modèles d'échangeurs de chaleur. Le montage expérimental complet se compose de deux éléments principaux: la WL 110 comme unité d'alimentation et d'utilisation, ainsi qu'un échangeur de chaleur au choix: échangeur de chaleur coaxial (WL 110.01), échangeur de chaleur à plaques (WL 110.02), échangeur de chaleur à faisceau tubulaire (WL 110.03) et réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin (WL 110.04). De l'eau est utilisée comme fluide.

L'échangeur de chaleur à étudier est raccordé à l'unité d'alimentation. L'eau chaude traverse l'échangeur de chaleur, transmettant ainsi une partie de son énergie thermique à l'eau froide.

Le sens d'écoulement peut être modifié en branchant/débranchant les raccords d'eau, ce qui permet de réaliser un fonctionnement à courant parallèle ou à contre-courant.

La fonction principale de la WL 110 est la mise à disposition des circuits d'eau froide et d'eau chaude nécessaires. L'unité d'alimentation est équipée d'un réservoir chauffé et d'une pompe pour le circuit d'eau chaude, de raccords pour le circuit d'eau froide, et d'une armoire de commande dotée d'éléments d'affichage et de commande.

La température de l'eau chaude est réglée à l'aide d'un régulateur de température. Le débit du circuit d'eau chaude ou du circuit d'eau froide est ajusté à l'aide de vannes. Le circuit d'eau froide peut être alimenté par le réseau du laboratoire ou le WL 110.20.

Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour l'acquisition de données et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices.

Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Des capteurs mesurent les températures et les débits. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

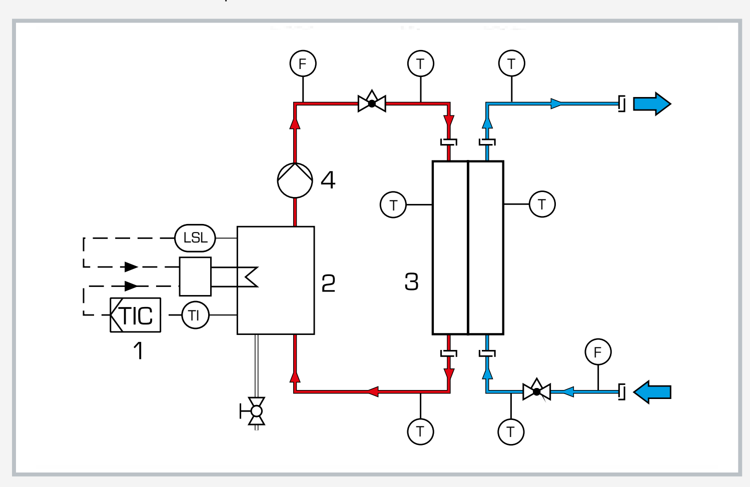
Contenu didactique/essais

- avec un échangeur de chaleur (WL 110.01 à WL 110.04)
  - enregistrement des profils de température
  - détermination du coefficient global moyen de transfert de chaleur
  - comparaison de différents types d'échangeurs de chaleur

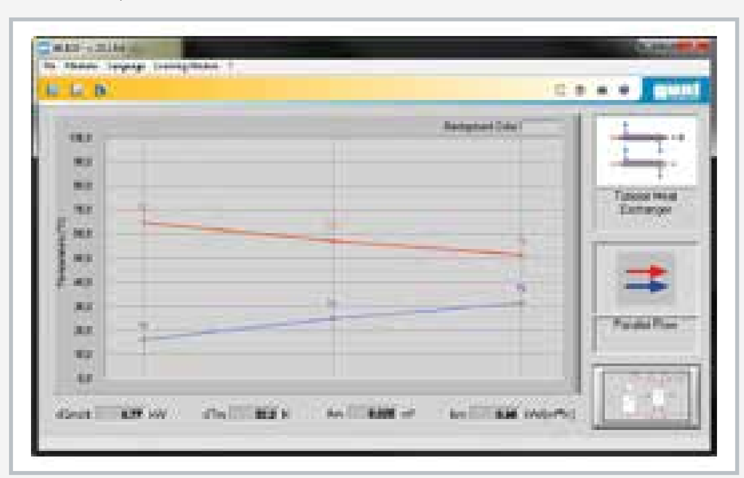
WL 110
Unité d'alimentation pour échangeurs de chaleur



1 régulateur de température, 2 affichages de la température, 3 affichages du débit, 4 réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin WL 110.04, 5 raccords de circuit d'eau froide, 6 schéma de processus, 7 réservoir d'eau chaude



1 régulateur de température, 2 réservoir chauffé, 3 échangeur de chaleur (accessoire WL 110.01 à WL 110.04), 4 pompe; rouge: circuit d'eau chaude, bleu: circuit d'eau froide; F débit, T température



Capture d'écran du logiciel: profil de température du WL 110.01 à courant parallèle

Spécification

[1] unité d'alimentation pour échangeurs de chaleur
[2] circuit d'eau chaude avec réservoir, chauffage, régulateur de température, pompe et protection contre le manque d'eau
[3] circuit d'eau froide via le réseau du laboratoire ou le générateur d'eau froide WL 110.20
[4] le régulateur de température permet de régler la température de l'eau chaude
[5] débits ajustables à l'aide de vannes
[6] affichages numériques pour 6 capteurs de température et 2 capteurs de débit
[7] raccords d'eau avec raccords rapides
[8] raccord pour agitateur avec réglage de la vitesse de rotation (WL 110.04)
[9] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage et acquisition de données
[10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Pompe
- puissance absorbée: 120W
- débit de refoulement max.: 600L/h
- hauteur de refoulement max.: 30m

Chauffage
- puissance: 3kW
- thermostat: 0...70°C

Réservoir d'eau chaude: env. 10L

Plages de mesure
- température: 6x 0...100°C
- débit: 2x 20...250L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x670x550mm
Poids: env. 60kg

Nécessaire pour le fonctionnement

WL 110.20 ou eau de refroidissement, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 110.01
Échangeur de chaleur coaxial



Description

- **échangeur de chaleur coaxial à raccorder à l'unité d'alimentation WL 110**
- **zone d'écoulement visible grâce à un tube extérieur transparent**

Les échangeurs de chaleur coaxiaux représentent la forme la plus simple des échangeurs de chaleur, et sont utilisés en priorité pour le transfert de chaleur en cas d'écart important de pression, ou entre des fluides à viscosité élevée (p.ex. boues d'épuration). Un avantage est l'écoulement uniforme traversant l'espace du tube. Dans cet espace, il n'existe pas de zones d'écoulement mortes.

Le WL 110.01 fait partie de la série d'appareils permettant d'effectuer des essais sur les différents types d'échangeurs de chaleur. Cet appareil d'essai s'avère parfait pour étudier le fonctionnement et le comportement en fonctionnement d'un échangeur de chaleur coaxial.

Le WL 110.01 est raccordé à l'unité d'alimentation WL 110 à l'aide de raccords rapides. L'eau chaude circule dans le tube interne et l'eau froide dans le tube externe. L'eau chaude transmet ainsi une partie de son énergie thermique à l'eau froide.

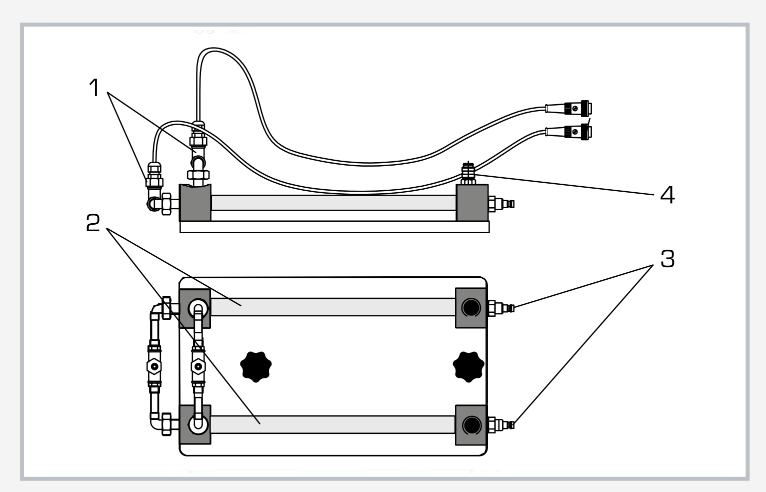
Les débits d'eau chaude et d'eau froide sont ajustés à l'aide des vannes situées sur l'unité d'alimentation. Le flexible d'alimentation peut être branché et débranché à l'aide de raccords facilement détachables, de manière à modifier le sens d'écoulement. Il est ainsi possible de réaliser un fonctionnement à courant parallèle ou à contre-courant. Des capteurs de température permettant de mesurer les températures d'entrée et de sortie de l'eau se trouvent sur les raccords d'alimentation de la WL 110. L'échangeur de chaleur coaxial comprend deux capteurs de température supplémentaires qui mesurent la température au-delà de la moitié de la section de transfert.

Lors des essais, les profils de température sont enregistrés et représentés sous forme graphique. Les valeurs de mesure peuvent être enregistrées et traitées également à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données. Le coefficient global moyen de transfert de chaleur est ensuite déterminé comme grandeur caractéristique.

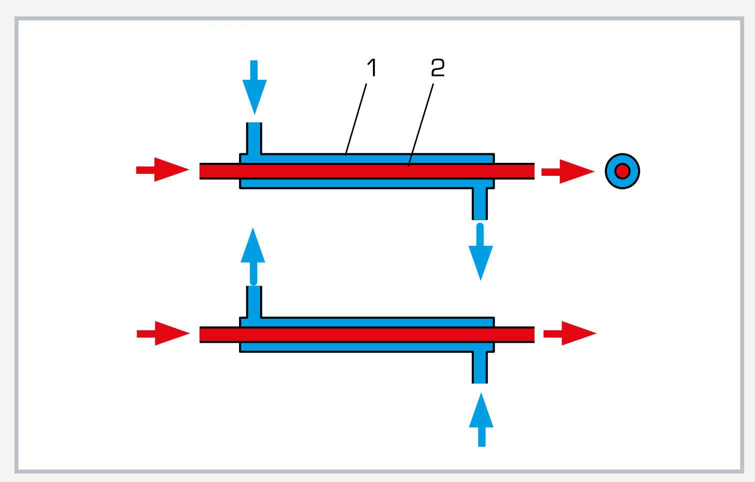
Contenu didactique/essais

- avec l'unité d'alimentation WL 110
  - fonctionnement et comportement en fonctionnement d'un échangeur de chaleur coaxial
  - enregistrement des profils de température:
    à courant parallèle
    à contre-courant
  - détermination du coefficient global moyen de transfert de chaleur
  - comparaison avec les autres types d'échangeurs de chaleur

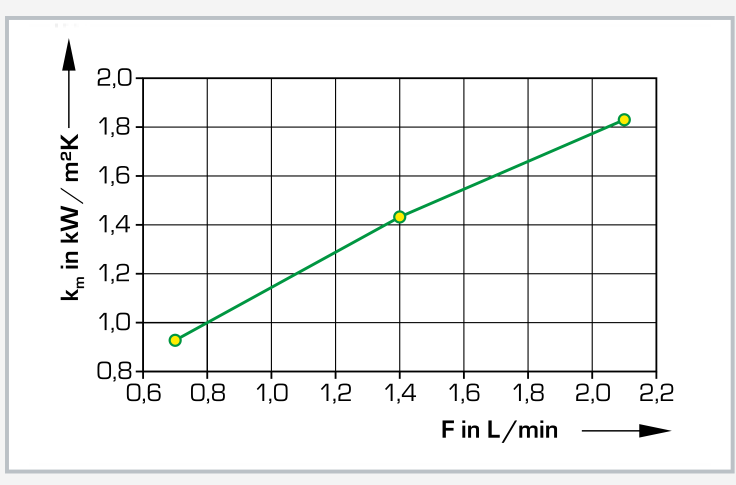
WL 110.01
Échangeur de chaleur coaxial



1 capteurs de température, 2 tubes coaxiaux, 3 raccords pour l'eau chaude, 4 raccords pour l'eau froide



Principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur coaxial
1 tube extérieur avec eau froide, 2 tube intérieur avec eau chaude; rouge: eau chaude, bleu: eau froide



Coefficient global moyen de transfert de chaleur k_m comme fonction du débit volumétrique eau froide et eau chaude

Spécification

[1] échangeur de chaleur coaxial à raccorder au WL 110
[2] alimentation en eau chaude et eau froide via la WL 110
[3] fonctionnement possible à courant parallèle et à contre-courant
[4] mesure de la température via la WL 110 et via 2 capteurs de température pour la mesure de la température moyenne

Caractéristiques techniques

Surfaces d'échange de chaleur
- surface de transfert moyenne: 250cm²

Tube intérieur, acier inoxydable
- diamètre extérieur: 12mm
- épaisseur de paroi: 1mm

Tube extérieur, transparent (PMMA)
- diamètre extérieur: 20mm
- épaisseur de paroi: 2mm

Plages de mesure
- température: 2x 0...100°C

Lxlxh: 480x230x150mm
Poids: env. 4kg

Liste de livraison

1 échangeur de chaleur coaxial

WL 110.02
Échangeur de chaleur à plaques



2E

Description

■ **échangeur de chaleur à plaques à raccorder à l'unité d'alimentation WL 110**

Les échangeurs de chaleur à plaques se distinguent avant tout par leur forme compacte, grâce à laquelle l'ensemble de l'équipement est utilisé de manière optimale, à des fins de transfert de chaleur. Le profil estampé sur les plaques forme des zones d'écoulement étroites dans lesquelles apparaissent de fortes turbulences. L'écoulement turbulent permet un transfert de chaleur efficace, y compris avec des débits faibles, et présente par ailleurs un effet autonettoyant. Les échangeurs de chaleur à plaques sont utilisés dans l'industrie alimentaire, la technologie marine, les installations frigorifiques et l'ingénierie des bâtiments.

Le WL 110.02 fait partie de la série d'appareils permettant d'effectuer des essais sur les différents types d'échangeurs de chaleur. Cet appareil d'essai s'avère parfait pour étudier le fonctionnement et le comportement en fonctionnement d'un échangeur de chaleur à plaques.

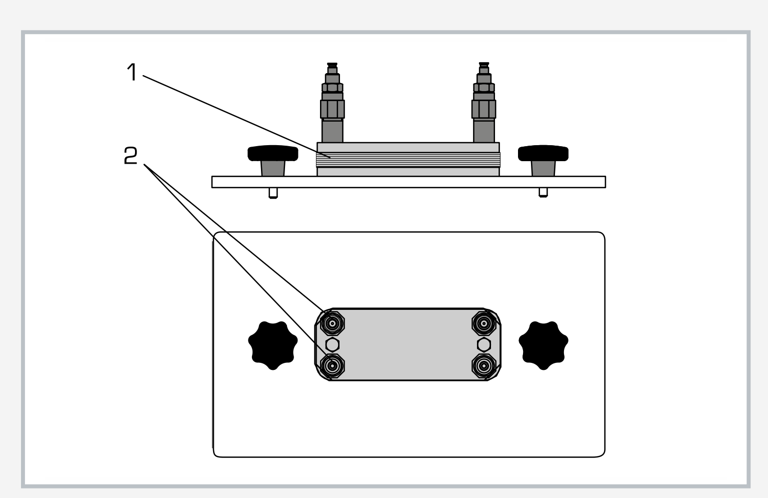
Le WL 110.02 est raccordé à l'unité d'alimentation WL 110 à l'aide de raccords rapides. L'échangeur de chaleur à plaques se compose de plaques profilées dans les interstices desquels s'écoule l'eau. Les plaques sont soudées de manière à former deux zones d'écoulement séparées. Une zone d'écoulement "froide" et une zone d'écoulement "chaude" apparaissent alternativement. L'eau chaude transmet ainsi une partie de son énergie thermique à l'eau froide. Les débits d'eau chaude et d'eau froide sont ajustés à l'aide de vannes. Le flexible d'alimentation peut être branché et débranché à l'aide de raccords facilement détachables, de manière à modifier le sens d'écoulement. Il est ainsi possible de réaliser un fonctionnement à courant parallèle ou à contre-courant. Des capteurs de température, permettant de mesurer les températures d'entrée et de sortie, se trouvent sur les raccords d'alimentation de la WL 110.

Lors des essais, les profils de température sont enregistrés et représentés sous forme graphique. Les valeurs de mesure peuvent être enregistrées et traitées également à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données. Le coefficient global moyen de transfert de chaleur est ensuite déterminé comme grandeur caractéristique.

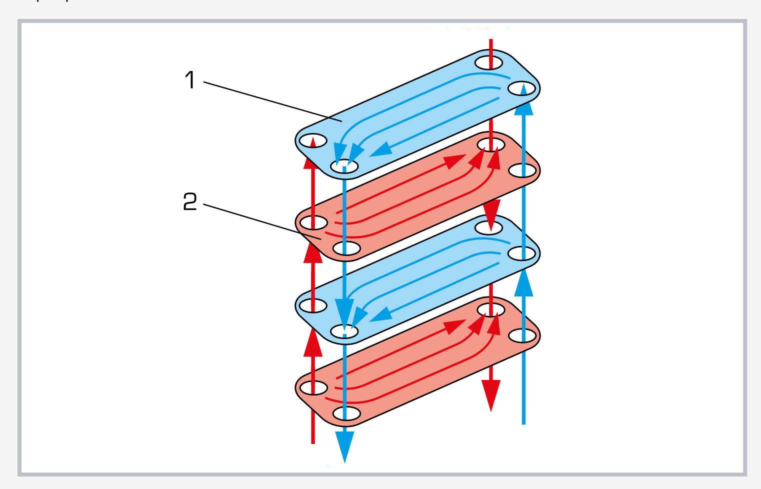
Contenu didactique/essais

■ avec l'unité d'alimentation WL 110
- fonctionnement et comportement en fonctionnement d'un échangeur de chaleur à plaques
- enregistrement des profils de température:
  à courant parallèle
  à contre-courant
- détermination du coefficient global moyen de transfert de chaleur
- comparaison avec les autres types d'échangeurs de chaleur

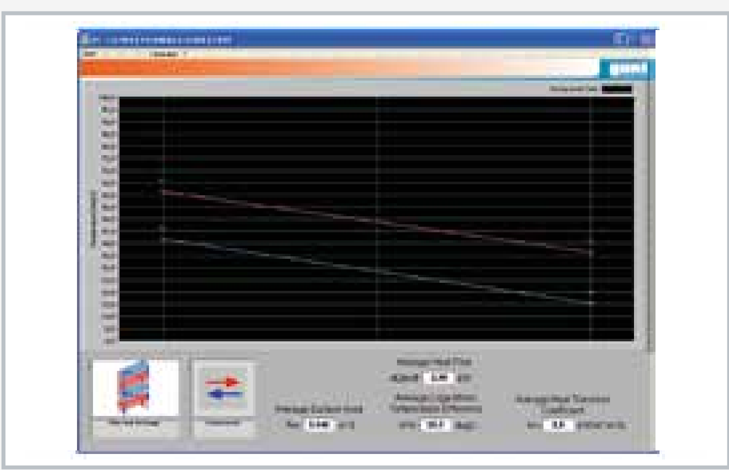
WL 110.02
Échangeur de chaleur à plaques



1 plaques, 2 raccords d'eau



1 plaque avec eau froide, 2 plaque avec eau chaude; rouge: eau chaude, bleu: eau froide



Capture d'écran du logiciel: profil de température à contre-courant

Spécification

[1] échangeur de chaleur à plaques à raccorder au WL 110
[2] alimentation en eau chaude et eau froide via la WL 110
[3] fonctionnement possible à courant parallèle et à contre-courant
[4] 6 plaques soudées
[5] mesure de la température à l'aide de la WL 110

Caractéristiques techniques

6 plaques, acier inoxydable
Surface d'échange de chaleur: 480cm^2

Lxlxh: 400x230x85mm
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

1 échangeur de chaleur à plaques

WL 110.03
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire



Description

- **échangeur de chaleur à faisceau tubulaire à raccorder à l'unité d'alimentation WL 110**
- **les fluides s'écoulent en courants croisés**

Les échangeurs de chaleur à faisceau tubulaire sont des modèles largement répandus. Ils présentent l'avantage de proposer une grande surface de transfert de chaleur et un design compact. Les échangeurs de chaleur à faisceau tubulaire sont utilisés dans l'industrie chimique et pharmaceutique, dans les raffineries et dans les installations en génie des procédés.

Le WL 110.03 fait partie de la série d'appareils permettant d'effectuer des essais sur les différents types d'échangeurs de chaleur. Cet appareil d'essai s'avère parfait pour étudier le fonctionnement et le comportement en fonctionnement d'un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire.

Le WL 110.03 est raccordé à l'unité d'alimentation WL 110 à l'aide de raccords rapides. L'échangeur de chaleur à faisceau tubulaire se compose de sept tubes, entourés d'un tube enveloppe transparent. L'eau chaude traverse l'espace du tube, et l'eau froide traverse l'espace de l'enveloppe. L'eau chaude transmet ainsi une partie de son énergie thermique à l'eau froide. Des chicanes dévient l'écoulement dans l'espace dans l'enveloppe de manière à générer une turbulence plus forte et donc un transfert de chaleur plus intense. Les fluides s'écoulent en courants croisés.

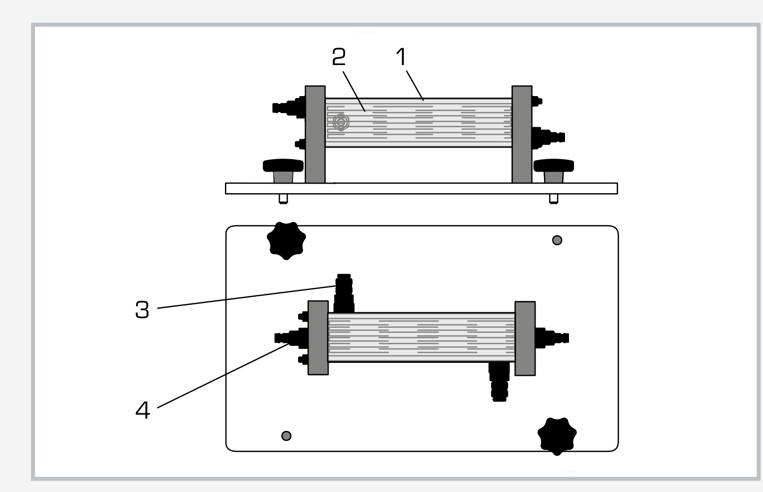
Les débits d'eau chaude et d'eau froide sont ajustés à l'aide de vannes. Le flexible d'alimentation peut être branché et débranché à l'aide de raccords facilement détachables, de manière à modifier le sens d'écoulement. Il est ainsi possible de réaliser un fonctionnement à courant croisé parallèle ou à contre-courant croisé. Des capteurs de température, permettant de mesurer les températures d'entrée et de sortie, se trouvent sur les raccords d'alimentation de la WL 110.

Lors des essais, les profils de température sont enregistrés et représentés sous forme graphique. Les valeurs de mesure peuvent être enregistrées et traitées également à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données. Le coefficient global moyen de transfert de chaleur est ensuite déterminé comme grandeur caractéristique.

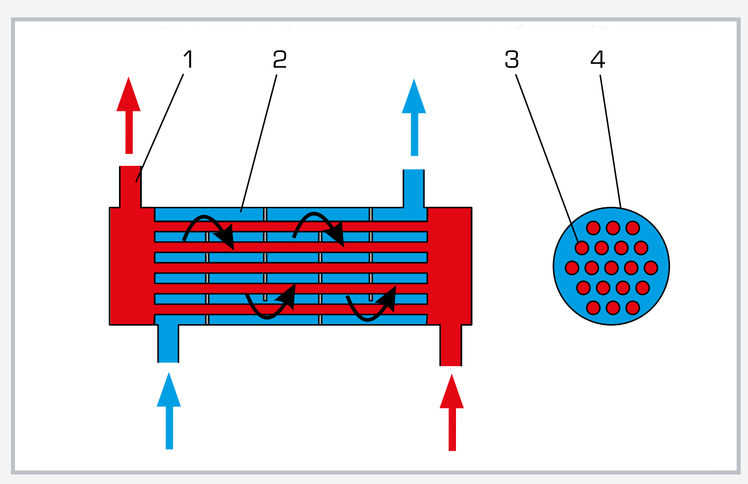
Contenu didactique/essais

- avec l'unité d'alimentation WL 110
  - fonctionnement et comportement en fonctionnement d'un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire (courants croisés)
  - enregistrement des profils de température:
    à courant croisé parallèle
    à contre-courant croisé
  - détermination du coefficient global moyen de transfert de chaleur
  - comparaison avec les autres types d'échangeurs de chaleur

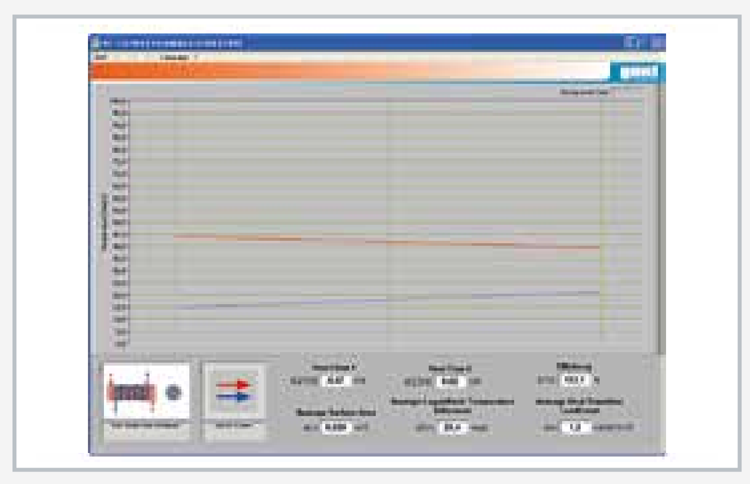
WL 110.03
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire



1 tube enveloppe transparent, 2 faisceau tubulaire, 3 raccord d'eau du tube enveloppe, 4 raccord d'eau du faisceau tubulaire



1 eau chaude, 2 eau froide, 3 tube, 4 tube enveloppe; rouge: eau chaude, bleu: eau froide



Capture d'écran du logiciel: profil de température à courant croisé parallèle

Spécification

[1] échangeur de chaleur à faisceau tubulaire (courants croisés) à raccorder au WL 110
[2] alimentation en eau chaude et eau froide via la WL 110
[3] fonctionnement possible à courant croisé parallèle et à contre-courant croisé
[4] tube de protection transparent, faisceau tubulaire visible
[5] faisceau tubulaire composé de 7 tubes et de 4 chicanes
[6] mesure de la température à l'aide de la WL 110

Caractéristiques techniques

Surface d'échange de chaleur: 200cm^2
Faisceau tubulaire, acier inoxydable
- diamètre extérieur: 6mm
- épaisseur de paroi: 1mm
- tubes, 7 unités

Tube enveloppe, transparent (PMMA)
- diamètre extérieur: 50mm
- épaisseur de paroi: 3mm

Lxlxh: 400x230x110mm
Poids: env. 3kg

Liste de livraison

1 échangeur de chaleur à faisceau tubulaire

WL 110.04

Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin



Description

- **réservoir agitateur à double enveloppe à raccorder à l'unité d'alimentation WL 110**
- **agitateur permettant un meilleur mélange du fluide**
- **chauffage via l'enveloppe ou via le serpentin**

Dans de nombreux procédés du génie industriels, plusieurs procédures de base sont combinées. Par exemple, il y a une réaction chimique dans un réservoir dans laquelle la chaleur doit être fournie ou évacuée. C'est pourquoi ces réservoirs sont équipés d'une double enveloppe ou d'un serpentin. En fonction du procédé, le fluide dans la double enveloppe ou dans le serpentin est utilisé pour le chauffage ou le refroidissement du contenu du réservoir. Pour mieux mélanger le contenu du réservoir et pour une distribution homogène de la température, on utilise des agitateurs. En cas d'une distribution de température homogène, la température du produit est précisément ajustable. Le réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin est un modèle pour un réservoir de ce genre.

Le WL 110.04 fait partie de la série d'appareils permettant d'effectuer des essais sur les différents types d'échangeurs de chaleur. Cet appareil d'essai s'avère parfait pour étudier le fonctionnement et le comportement en fonctionnement d'un réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin.

Le WL 110.04 est raccordé à l'unité d'alimentation WL 110 à l'aide de raccords rapides. Dans le réservoir agitateur avec double enveloppe, il y a un serpentin. Dans le cas du chauffage par double enveloppe, l'eau chaude s'écoule à travers l'enveloppe. Une partie de l'énergie thermique de l'eau chaude est transmise à l'eau froide dans le réservoir. Dans le cas du chauffage avec le serpentin, l'eau chaude s'écoule à travers le serpentin en chauffant l'eau froide dans le réservoir. Il est possible d'utiliser un agitateur pour tous les modes de fonctionnement. Les débits d'eau chaude sont ajustés à l'aide des vannes situées sur l'unité d'alimentation.

Des capteurs de température permettant de mesurer les températures d'entrée et de sortie se trouvent sur les raccords d'alimentation de la WL 110. Un capteur de température supplémentaire mesure la température dans le réservoir agitateur.

Lors des essais, les profils de temps sont enregistrés et représentés sous forme graphique. Les valeurs de mesure peuvent être enregistrées et traitées également à l'aide d'un logiciel d'acquisition de données.

Contenu didactique/essais

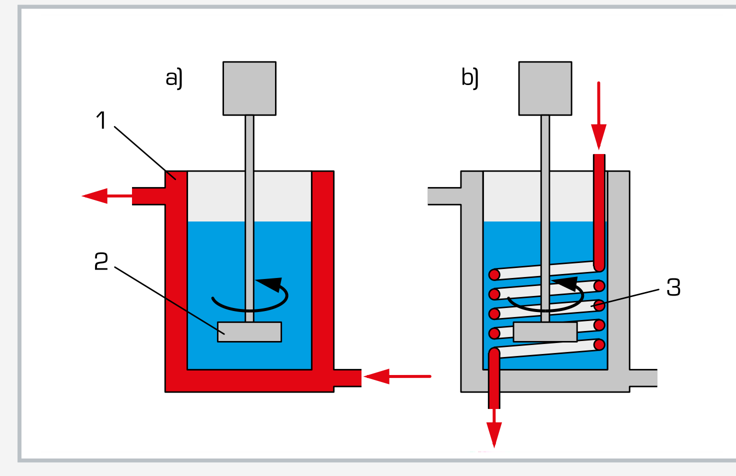
- avec l'unité d'alimentation WL 110
  - fonctionnement et comportement en fonctionnement d'un réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin
  - enregistrement des intervalles de temps:
    mode de fonctionnement chauffage par double enveloppe
    mode de fonctionnement chauffage par serpentin
  - influence d'un agitateur
  - comparaison avec les autres types d'échangeurs de chaleur

WL 110.04

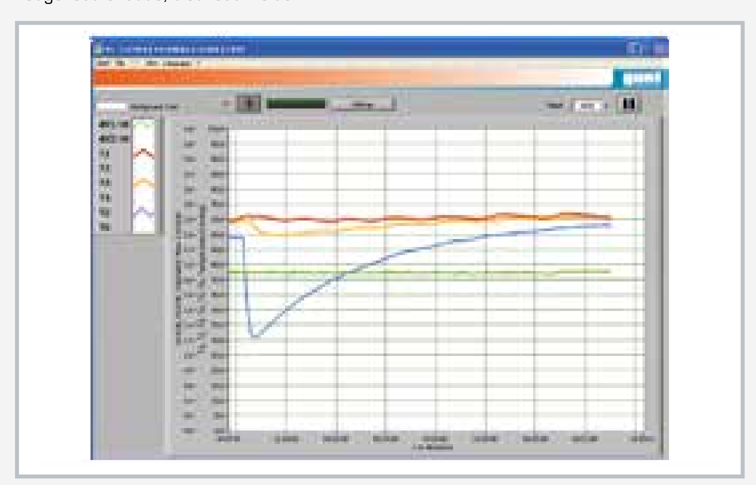
Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin



1 moteur de l'agitateur, 2 réservoir agitateur, 3 raccord du moteur de l'agitateur, 4 raccord pour capteur de température, 5 raccord d'eau de l'enveloppe, 6 sortie et entrée d'eau dans le réservoir agitateur, 7 raccord d'eau de serpentin, 8 capteur de température



a) chauffage via l'enveloppe: 1 enveloppe, 2 mobile d'agitation
b) chauffage via le serpentin: 3 serpentin;
rouge: eau chaude, bleu: eau froide



Capture d'écran du logiciel: profil de temps pour le chauffage par double enveloppe

Spécification

[1] réservoir agitateur à raccorder au WL 110
[2] alimentation en eau chaude et eau froide via la WL 110
[3] chauffage via l'enveloppe ou le serpentin
[4] agitateur pouvant être utilisé pour tous les modes de fonctionnement
[5] vitesse de rotation de l'agitateur ajustable via la WL 110
[6] zone de travail visible grâce à un couvercle transparent
[7] mesure de la température via la WL 110 et via 1 capteur de température permettant de mesurer la température dans le réservoir

Caractéristiques techniques

Réservoir agitateur
- capacité nominale: env. 1200mL

Agitateur
- vitesse de rotation: 0...330min^{-1}

Surface d'échange de chaleur
- enveloppe (acier inoxydable): env. 500cm^2
- serpentin (acier inoxydable): env. 500cm^2

Plages de mesure
- température: 0...100°C

Lxlxh: 400x230x400mm
Poids: env. 8kg

Liste de livraison

1 réservoir agitateur

WL 312
Transfert de chaleur par écoulement d'air

L'appareil de base et sa large gamme d'accessoires permettent d'étudier, de manière très complète, les échangeurs de chaleur utilisés pour le conditionnement de l'air dans la technique de climatisation et de ventilation.

- étude du transfert de chaleur convectif sur des échangeurs de chaleur dans la technique de climatisation et de ventilation
- influence des différentes surfaces de tube sur la modification de la température de l'air
- détermination du profil d'écoulement dans le conduit d'air derrière l'échangeur de chaleur, avec le tube de Pitot mobile verticalement, la sonde statique sur le conduit d'air et un manomètre à tube incliné
- détermination de la vitesse d'écoulement de l'air par la tuyère de mesure, à l'entrée du conduit d'air. La vitesse peut être ajustée sur une large plage grâce à une vanne papillon située à la sortie du ventilateur.
- les générateurs d'eau chaude et d'eau froide disponibles en option (WL 312.10, WL 312.11) permettent un fonctionnement indépendant du réseau du laboratoire
- groupe frigorifique WL 312.12 en option pour l'utilisation de l'évaporateur direct WL 312.03



Accessoires en option pour l'alimentation des échangeurs de chaleur



WL 312.10
Générateur d'eau chaude

Le générateur d'eau chaude permet d'alimenter les échangeurs de chaleur WL 312.01 et WL 312.02. Les échangeurs de chaleur fonctionnent alors en tant que réchauffeurs d'air.



WL 312.11
Générateur d'eau froide

Le générateur d'eau froide permet d'alimenter les échangeurs de chaleur WL 312.01 et WL 312.02. Les échangeurs de chaleur fonctionnent alors en tant que refroidisseur d'air.



WL 312.12
Groupe frigorifique

Le groupe frigorifique sert à refroidir l'air pour le fonctionnement de l'évaporateur direct WL 312.03.

WL 312 + échangeurs de chaleur WL 312.01 – WL 312.03

WL 312.01
Transfert de chaleur sur les tubes lisses

Les échangeurs de chaleur avec **tubes lisses** sont utilisés dans les systèmes sur lesquels il faut éviter la formation de dépôts sur les tubes, et que l'on souhaite pouvoir nettoyer rapidement et de manière efficace. Cet **échangeur de chaleur air-eau** est inséré dans le conduit d'air du WL 312 dans lequel il est fixé à l'aide de fermetures à genouillère. Le raccordement à l'alimentation en eau chaude et en eau froide est assuré par des flexibles avec accouplements rapides. Un couvercle transparent permet une bonne observation de l'échangeur de chaleur. L'eau s'écoule à travers le faisceau tubulaire. L'air est transporté à courants croisés à travers l'échangeur de chaleur.

WL 312.02
Transfert de chaleur sur les tubes à ailettes

Les échangeurs de chaleur avec **tubes à ailettes** sont utilisés pour obtenir un transfert de chaleur optimal entre des fluides gazeux et des liquides, à condition que les fluides ne soient pas souillés. Cet **échangeur de chaleur air-eau** est inséré dans le conduit d'air du WL 312 dans lequel il est fixé à l'aide de fermetures à genouillère. Le raccordement à l'alimentation en eau chaude et en eau froide est assuré par des flexibles avec accouplements rapides.

Le faisceau tubulaire est constitué de tubes à ailettes semblables à ceux qui sont fréquemment utilisés dans les échangeurs de chaleur air-eau. Un couvercle transparent permet une bonne observation de l'échangeur de chaleur. L'eau s'écoule à travers le faisceau tubulaire. L'air est transporté à courants croisés à travers l'échangeur de chaleur.

WL 312.03
Transfert de chaleur sur l'évaporateur d'agent réfrigérant



Cet **évaporateur dit direct** est inséré dans le conduit d'air du WL 312 dans lequel il est fixé à l'aide de fermetures à genouillère. Le raccordement à un groupe frigorifique est assuré par des flexibles avec accouplements rapides.

L'agent réfrigérant s'évapore dans les tubes, et prélève de la chaleur de l'air. Les **tubes** sont **rainurés** afin d'étendre la surface de transfert de la chaleur. Ici aussi, le couvercle transparent facilite l'observation de l'évaporateur.

Accessoires en option

WL 312.10
Générateur d'eau chaude

ou

WL 312.11
Générateur d'eau froide

WL 312.10
Générateur d'eau chaude

ou

WL 312.11
Générateur d'eau froide

WL 312.12
Groupe frigorifique

WL 312
Transfert de chaleur par écoulement d'air



Description

■ **en association avec les accessoires, étude du transfert de chaleur convectif**

Dans de nombreux processus de production industrielle, ainsi que pour la climatisation des bâtiments, le transfert de chaleur s'effectue à l'aide d'un écoulement d'air. Le transfert de chaleur convectif est ici déterminé par les différentiels de température entre les fluides utilisés et l'écoulement.

Le banc d'essai WL 312 étudie le transfert de chaleur convectif sur différentes surfaces de tubes. Le mouvement d'écoulement est assuré par une convection forcée.

Un conduit d'air isolé avec ventilateur sert de section de mesure. Un élément d'entrée favorable à l'écoulement et un redresseur situé dans le conduit d'air assurent un écoulement homogène pour la réalisation des essais. Le débit volumétrique est ajusté par une vanne papillon située à la sortie du ventilateur, et mesuré par une tuyère de mesure à l'entrée du conduit d'air.

Il est possible d'insérer dans le conduit d'air des échangeurs de chaleur dont les surfaces de tubes sont différentes. Des échangeurs de chaleur avec des tubes lisses, des tubes à ailettes ou encore un évaporateur d'agent réfrigérant, sont disponibles en option. Pour permettre d'observer les essais, le conduit d'air est muni de deux fenêtres.

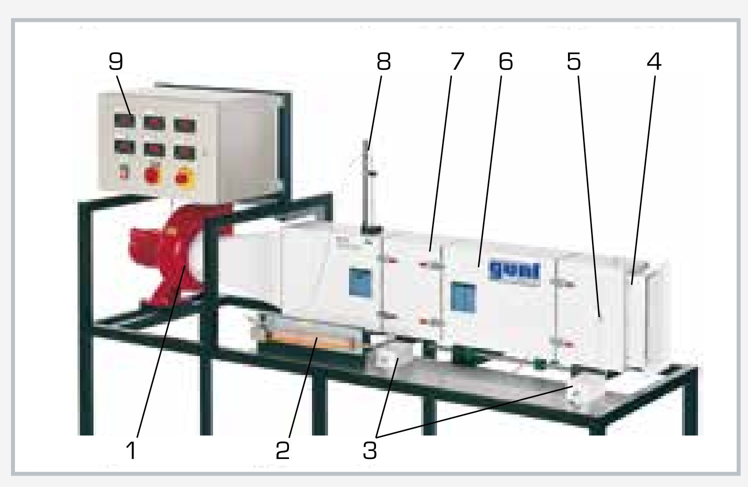
Des capteurs combinés mesurent la température et l'humidité relative à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur. Les pressions avant et après la section de mesure sont également mesurées, et la perte de charge au niveau de l'échangeur de chaleur est déterminée. La distribution de la vitesse dans le conduit d'air est mesurée avec un tube de Pitot. Les températures, les pressions et l'humidité relative sont affichées numériquement.

Les accessoires suivants sont recommandés pour l'alimentation des échangeurs de chaleur: générateur d'eau chaude (WL 312.10), générateur d'eau froide (WL 312.11) et groupe frigorifique (WL 312.12).

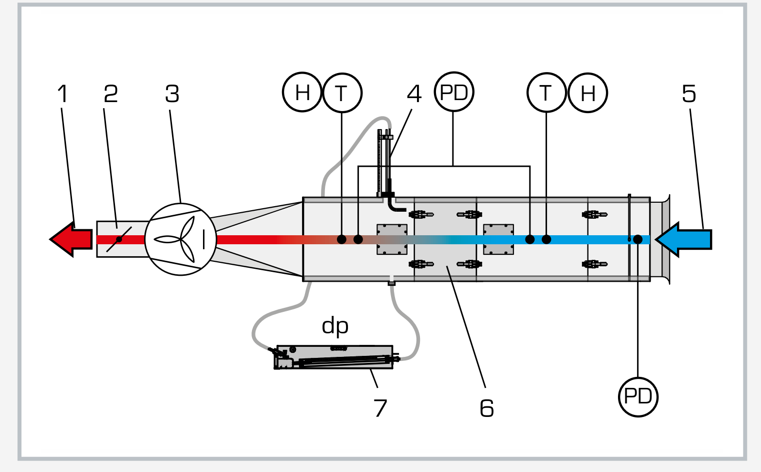
Contenu didactique/essais

- essais sans accessoires
  - enregistrement de la caractéristique du ventilateur
  - distribution de la vitesse dans le canal traversé par l'écoulement
- essais avec accessoires
  - transfert de chaleur sur les tubes lisses (WL 312.01, associé aux WL 312.10 / WL 312.11)
  - transfert de chaleur sur les tubes à ailettes (WL 312.02, associé aux WL 312.10 / WL 312.11)
  - transfert de chaleur sur l'évaporateur d'agent réfrigérant (WL 312.03, associé au WL 312.12)

WL 312
Transfert de chaleur par écoulement d'air



1 ventilateur avec vanne papillon, 2 manomètre à tube incliné, 3 capteur de pression différentielle, 4 entrée favorable à l'écoulement, 5 mesure de pression par tuyère de mesure, 6 conduit d'air avec fenêtres, 7 section de mesure pour accessoires interchangeables, 8 tube de Pitot, 9 éléments d'affichage et de commande



1 sortie d'air, 2 vanne papillon, 3 ventilateur, 4 tube de Pitot, 5 entrée d'air, 6 section de mesure pour accessoires interchangeables, 7 manomètre à tube incliné;
H humidité, T température, dp pression différentielle, PD capteur de pression différentielle



Accessoires pour le banc d'essai:
WL 312.01 Transfert de chaleur sur les tubes lisses
WL 312.02 Transfert de chaleur sur les tubes à ailettes
WL 312.03 Transfert de chaleur sur l'évaporateur d'agent réfrigérant

Spécification

[1] conduit d'air pour l'étude du transfert de chaleur dans des écoulements d'air
[2] conduit d'air isolé avec redresseur et entrée favorable à l'écoulement
[3] détermination du débit volumétrique de l'air en fonction du différentiel de pression, au niveau de la tuyère de mesure
[4] ventilateur avec débit ajustable
[5] tube de Pitot mobile avec manomètre à tube incliné pour la mesure des distributions de la vitesse
[6] capteurs de température et d'humidité combinés
[7] affichages numériques de la pression différentielle, de la température et de l'humidité relative de l'air
[8] différents échangeurs de chaleur disponibles en option

Caractéristiques techniques

Section transversale du conduit d'air: 150x300mm

Ventilateur
- puissance: 1100W
- débit de refoulement max.: 1680m^3/h
- pression différentielle max.: 1000Pa
- vitesse nominale: 2800min^{-1}
- vitesse de l'air: max. 10m/s

Tube de Pitot: déplacement 300mm

Plages de mesure
- température: 2x 0...50°C
- humidité: 2x 0...100%
- pression différentielle: 1x 0...100Pa

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2350x750x1800mm
Poids: env. 150kg

Liste de livraison

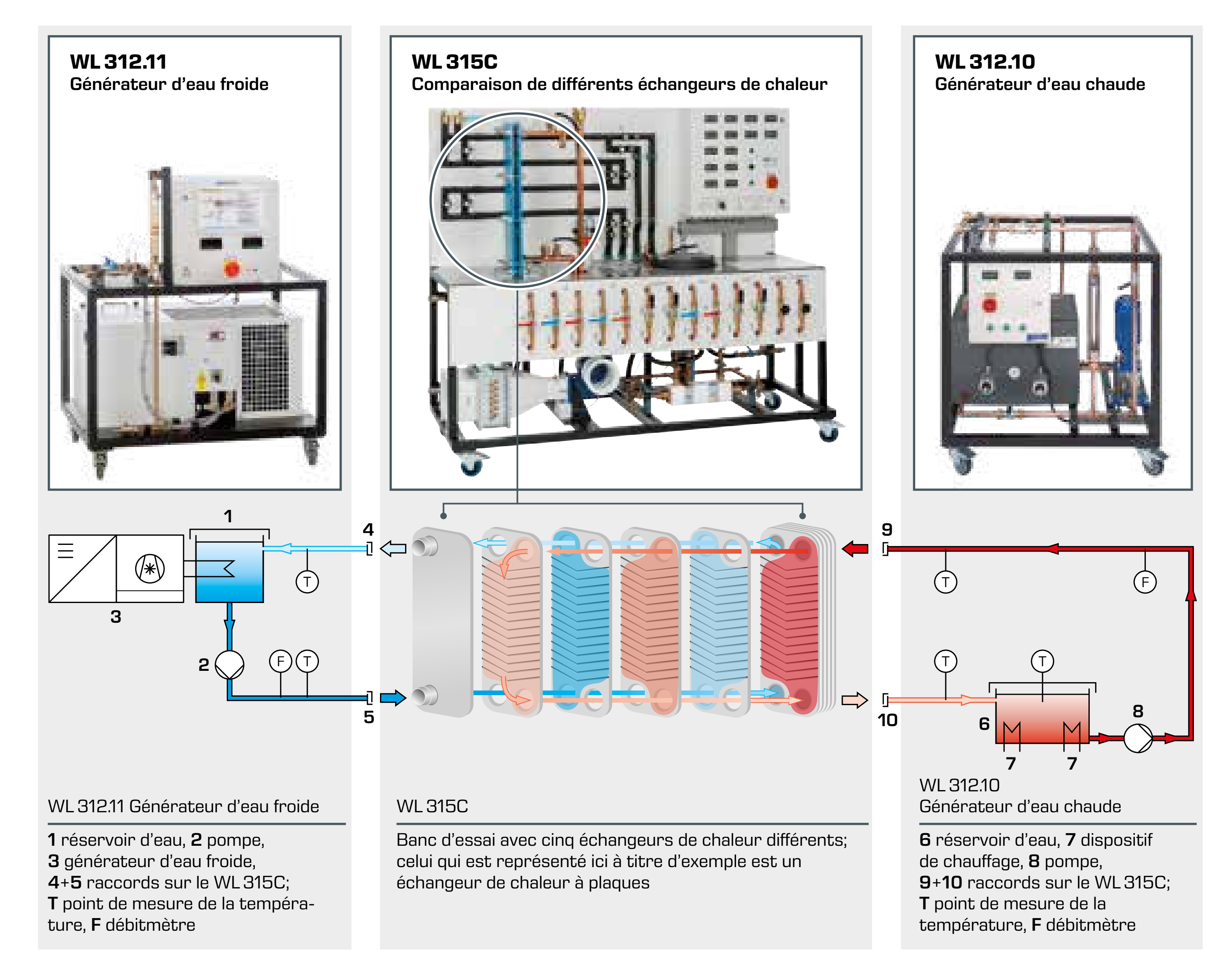
1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



WL 315C
Comparaison de différents échangeurs de chaleur

Le banc d'essai WL 315C permet d'étudier et comparer de manière expérimentale différentes constructions d'échangeurs de chaleur. La construction la plus répandue est celle de l'échangeur à tubes, ici sous la forme d'un échangeur de chaleur coaxial et à faisceau tubulaire. L'échangeur de chaleur à plaques est lui aussi une construction tout aussi fréquemment utilisée. Quant au réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin, il constitue une construction bien particulière. Sur le modèle utilisé ici, il est possible de faire passer de l'eau chaude soit par l'enveloppe externe, soit par le serpentin interne. L'échangeur de chaleur à ailettes est un exemple typique de transfert de chaleur entre un fluide liquide et un fluide gazeux.

Les constructions présentées ici correspondent à des échangeurs de chaleur indirects dans lesquels les flux de matière sont acheminés à courant parallèle, à contre-courant ou, dans le cas de l'échangeur de chaleur à ailettes, à courants croisés.



WL 312.11 Générateur d'eau froide

1 réservoir d'eau, **2** pompe, **3** générateur d'eau froide, **4**+**5** raccords sur le WL 315C; **T** point de mesure de la température, **F** débitmètre

WL 315C

Banc d'essai avec cinq échangeurs de chaleur différents; celui qui est représenté ici à titre d'exemple est un échangeur de chaleur à plaques

WL 312.10 Générateur d'eau chaude

6 réservoir d'eau, **7** dispositif de chauffage, **8** pompe, **9**+**10** raccords sur le WL 315C; **T** point de mesure de la température, **F** débitmètre

Les accessoires WL 312.11 Générateur d'eau froide et WL 312.10 Générateur d'eau chaude fournissent de l'eau froide et de l'eau chaude pour les essais, indépendamment du réseau du laboratoire. Cela permet de faire fonctionner le banc d'essai en tant que système indépendant avec un circuit d'eau fermé.

WL 312.11 Générateur d'eau froide
Le générateur d'eau froide permet d'assurer un bon fonctionnement lorsque la température ambiante et celle de l'eau sont élevées. L'appareil est équipé d'un groupe frigorifique fermé, d'un réservoir d'eau et d'une pompe de circulation.

WL 312.10 Générateur d'eau chaude
Le générateur d'eau chaude fournit de l'eau chaude pour les essais. L'appareil comprend un récipient d'eau avec deux dispositifs de chauffage et une pompe qui achemine l'eau chauffée jusqu'au banc d'essai. Deux voyants situés sur le réservoir d'eau permettent de contrôler le niveau.

Vue d'ensemble des échangeurs de chaleur fournis

Construction	Principe de fonctionnement	Mode de fonctionnement	Fluide
Échangeur de chaleur coaxial	Deux tubes acheminent des fluides à des températures différentes **1** tube interne avec eau chaude, **2** tube externe avec eau froide	à courant parallèle ou à contre-courant	eau-eau
Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	Un faisceau tubulaire enveloppé d'un tube ou d'une coque, les deux acheminant des fluides de températures différentes **1** faisceau tubulaire avec eau chaude, **2** tube d'enveloppe avec eau froide	à courant parallèle ou à contre-courant	eau-eau
Échangeur de chaleur à plaques	Un paquet constitué de plaques embossées dans lesquelles des fluides de températures différentes sont acheminés en alternance **1** plaque embossée rouge: espace d'écoulement de l'eau chaude, **2** plaque embossée bleue: espace d'écoulement de l'eau froide	à courant parallèle ou à contre-courant	eau-eau
Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin	Réservoir agitateur avec enveloppe ou serpentin traversés par un écoulement; les fluides du réservoir agitateur et de l'enveloppe/serpentin ont des températures différentes. **1** enveloppe traversée par de l'eau chaude, **2** serpentin traversé par de l'eau chaude, **3** réservoir agitateur rempli d'eau froide	enveloppe chauffée ou serpentin chauffé	eau-eau
Échangeur de chaleur à ailettes	Paquet de tubes avec lamelles enfoncées traversées par de l'air; le fluide du tube et l'air présentent des températures différentes **1** tubes traversés par de l'eau chaude, **2** les lamelles des tubes permettent d'étendre la surface de transfert de la chaleur, **3** de l'air froid traverse les lamelles	courant parallèle croisé ou contre-courant croisé	eau-air

Logiciel GUNT pour l'acquisition de données

Le logiciel GUNT prend en charge l'ensemble des essais avec les différents types d'échangeurs de chaleur: les courbes de température sont affichées, les flux thermiques et les coefficients globaux de transfert de chaleur moyens sont calculés.



WL 315C
Comparaison de différents échangeurs de chaleur



Description

- **utilisation de composants industriels**
- **comparaison entre cinq échangeurs de chaleur différents**
- **ajustage des modes de fonctionnement et sélection des échangeurs de chaleur de manière claire sur le panneau avant**

Dans la pratique, on utilise différents types d'échangeurs de chaleur selon les exigences, afin d'assurer un transfert de chaleur efficace et d'éviter les pertes.

Le banc d'essai WL 315C permet d'étudier et comparer cinq types d'échangeurs de chaleur différents. On démontre aussi bien le fonctionnement à courant parallèle que celui à contre-courant avec ses différentes courbes de température.

Dans les échangeurs de chaleur à plaques, coaxiaux et à faisceau tubulaire, le transfert de chaleur a lieu entre l'eau chaude et l'eau froide, dans des tubes ou entre des plaques. Dans les échangeurs de chaleur à lamelles, l'air contourne en courants croisés des tubes remplis d'eau chaude.

Dans le réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin, l'écoulement d'eau chaude peut passer soit par l'enveloppe extérieure, soit par le serpentin intérieur.

Un agitateur mélange l'eau dans le réservoir, afin d'assurer une distribution homogène de la chaleur.

Le débit volumétrique d'air pour l'étude de l'échangeur de chaleur à lamelles est ajusté par une vanne papillon située à la sortie du ventilateur. Des soupapes permettent de passer du courant parallèle au contre-courant, et inversement. L'ajustage du débit du circuit d'eau chaude ou d'eau froide se fait également au moyen de soupapes.

Le débit volumétrique d'air est mesuré avec un capteur de pression différentielle installé de manière fixe. La pression de l'eau est mesurée à plusieurs endroits avec un capteur de pression différentielle mobile. Les températures et débits sont également mesurés. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

L'alimentation en eau chaude et en eau froide est assurée soit par le réseau du laboratoire, soit à l'aide des accessoires WL 312.10 Générateur d'eau chaude et WL 312.11 Générateur d'eau froide.

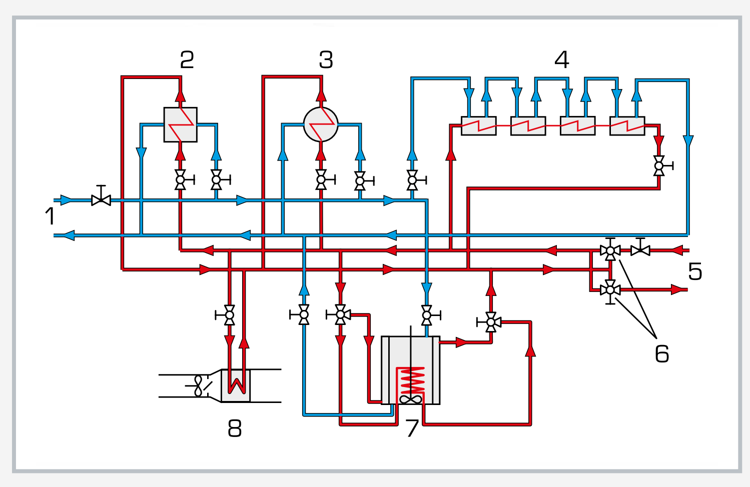
Contenu didactique/essais

- familiarisation avec les processus de transfert de chaleur
  - transfert de chaleur convectif
  - transfert de chaleur
- détermination du coefficient global de transfert de chaleur
- établissement des courbes de température pour les différents échangeurs de chaleur
  - courant parallèle
  - contre-courant
  - courant parallèle croisé
  - contre-courant croisé
- comparaison de différents échangeurs de chaleur
  - échangeur de chaleur à plaques
  - échangeur de chaleur coaxial
  - échangeur de chaleur à faisceau tubulaire
  - échangeur de chaleur à lamelles
  - réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin

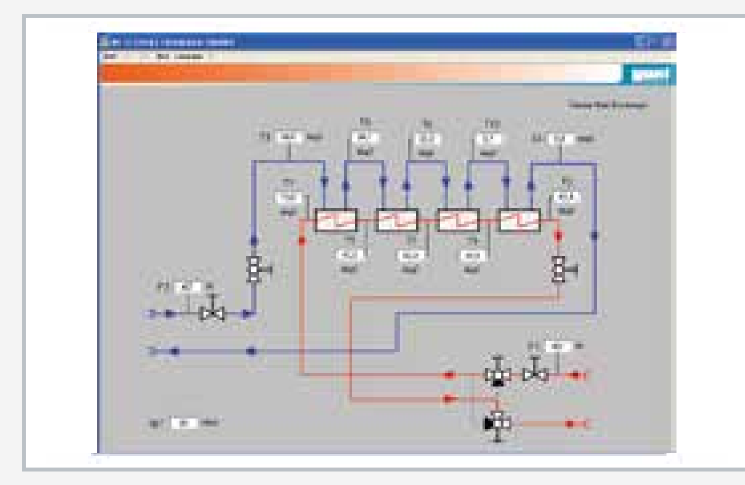
WL 315C
Comparaison de différents échangeurs de chaleur



1 soupape de purge, 2 échangeur de chaleur coaxial, 3 capteur de température, 4 échangeur de chaleur à plaques, 5 conduit d'air, 6 échangeur de chaleur à lamelles, 7 échangeur de chaleur à faisceau tubulaire, 8 ventilateur, 9 robinetteries d'ajustage, 10 réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin, 11 capteur de pression (eau), 12 armoire de commande



1 raccord d'eau froide (côté laboratoire ou par le WL 312.11), 2 échangeur de chaleur à faisceau tubulaire, 3 échangeur de chaleur à plaques, 4 échangeur de chaleur coaxial, 5 raccord d'eau chaude (côté laboratoire ou par le WL 312.10), 6 soupapes d'ajustage du mode de fonctionnement, 7 réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin, 8 échangeur de chaleur à lamelles



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus de l'échangeur de chaleur coaxial

Spécification

[1] étude de cinq types d'échangeurs de chaleur différents
[2] fonctionnement à courant parallèleou à contre-courant ajustable par des soupapes
[3] débits ajustables par des soupapes
[4] débitmètre électromagnétique, respectivement pour l'eau chaude et pour l'eau froide
[5] capteur de pression différentielle mobile pour l'eau
[6] capteur de pression différentielle installé de manière fixe pour l'air, pour la détermination du débit volumétrique
[7] affichages numériques de la température, des différentiels de pression et du débit
[8] générateurs d'eau chaude et d'eau froide (WL 312.10 et WL 312.11)
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Échangeur de chaleur à plaques, (eau-eau)
- nombre de plaques: 10
- surface de transfert de chaleur: env. 0,26m^2
- puissance: 15kW

Échangeur de chaleur coaxial (eau-eau)
- surface de transfert de chaleur: 0,1m^2

Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire (eau-eau)
- puissance: 13kW

Échangeur de chaleur à lamelles (eau-air)
- surface de transfert de chaleur: env. 2,8m^2
- débit de refoulement max. du ventilateur: 780m^3/h
- différentiel de pression max. du ventilateur: 430Pa

Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin (eau-eau)
- surface de transfert de chaleur de la double enveloppe: 0,16m^2
- surface de transfert de chaleur du serpentin: 0,17m^2

Plages de mesure
- pression différentielle:
  - 1x 0...10mbar (air)
  - 1x 0...1000mbar (eau)
- débit: 2x 0...3m^3/h
- température: 10x 0...100°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2010x800x1760mm
Poids: env. 250kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau chaude et froide: 400L/h, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 320
Tour de refroidissement par voie humide

Grâce à des colonnes de refroidissement échangeables, on effectue avec la tour de refroidissement par voie humide WL 320 aussi bien des essais fondamentaux, que des mesures comparatives sur différents types de colonnes de refroidissement. Ainsi, il est possible de comprendre les principales caractéristiques de la tour de refroidissement par voie humide dans le cadre d'une expérience.



Colonne de refroidissement de type 1 surface moyenne (contenue dans la livraison de WL 320)

WL 320 Tour de refroidissement par voie humide

des colonnes de refroidissement supplementaires pour effectuer des mesures comparatives



WL 320.01 Colonne de refroidissement de type 2 petite surface

WL 320.02 Colonne de refroidissement de type 3 grande surface

WL 320.03 Colonne de refroidissement de type 4 vide pour des surfaces de ruissellement selon les propres idées

WL 320.04 Colonne de refroidissement de type 5 des surfaces de ruissellement variables

Colonnes de refroidissement échangeables

On dispose de cinq colonnes de refroidissement différentes

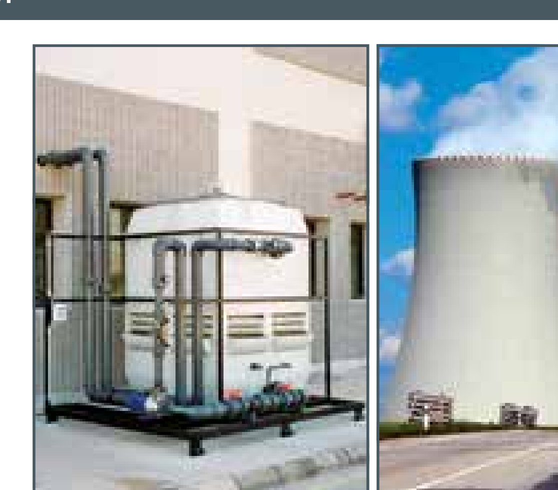
- trois colonnes de refroidissement avec différentes surfaces de ruissellement
- une colonne de refroidissement vide, sans surface de ruissellement pour examiner la transmission de la chaleur sur la goutte d'eau libre, ou pour la propre surface de ruissellement
- une colonne de refroidissement avec une surface de ruissellement divisée, de telle sorte que la surface de ruissellement puisse être variée, et que l'on puisse mesurer la répartition de la température et de l'humidité à l'intérieur de la colonne de refroidissement

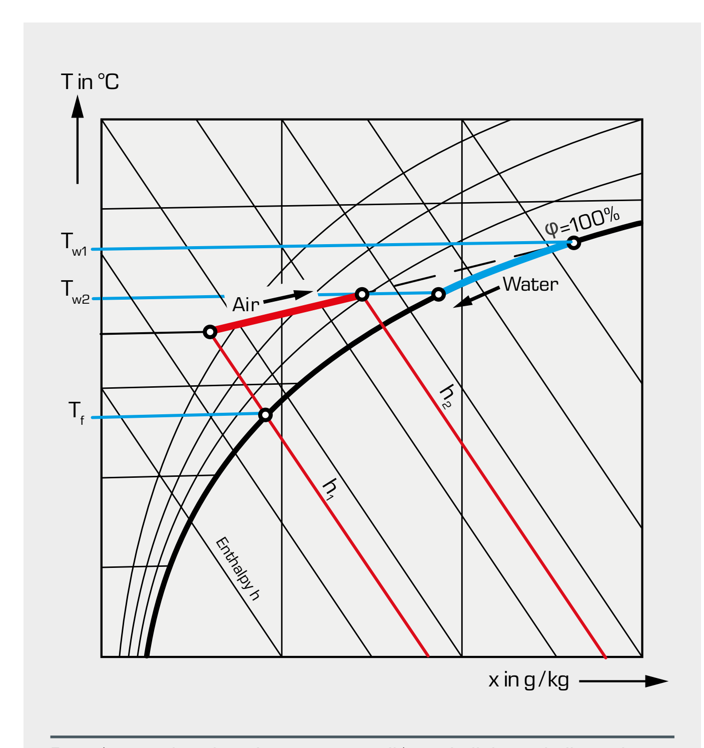
Comment fonctionne une tour de refroidissement?

Les tours de refroidissement sont utilisées lors de l'évacuation de la chaleur perdue, celle-ci étant produite dans le cadre de procédés thermiques, par exemple dans des centrales électriques à vapeur, des installations de climatisation et des refroidisseurs de processus. On fait une distinction entre des tours de refroidissement par voie sèche, et des tours de refroidissement par voie humide. A puissance égale, il est plus facile de construire des tours de refroidissement par voie humide, et il est possible de les construire en format plus réduit. Cela dit, on constate dans leur cas des pertes d'eau à hauteur de 1...2,5% de la quantité d'eau de refroidissement.

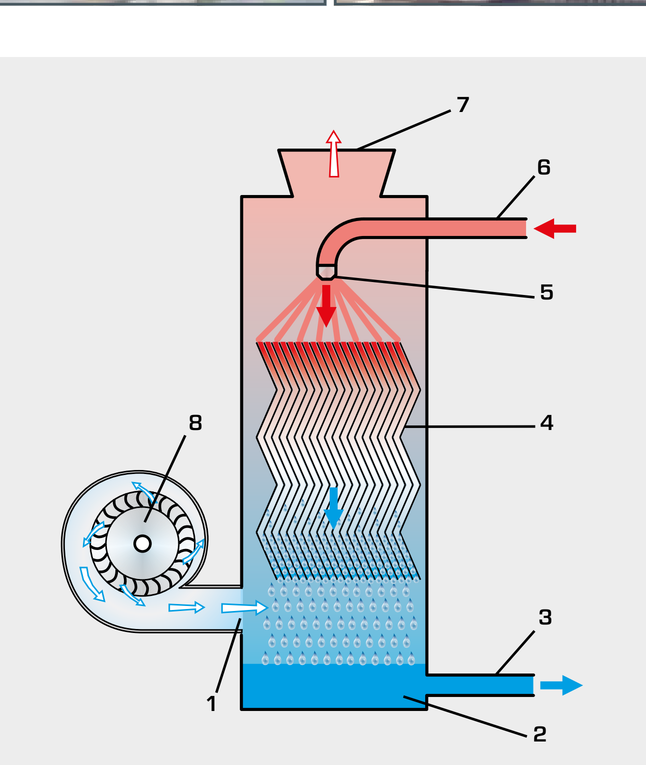
La WL 320 est une tour de refroidissement par voie humide. L'eau devant être refroidie est directement en contact avec l'air. L'eau chaude est pulvérisée en haut dans la tour de refroidissement, descend sur la surface de ruissellement et ce faisant, elle est refroidie. En bas, l'eau refroidie est retirée. L'air entre dans la tour de refroidissement par le bas, circule dans le contre-courant le long de l'eau qui descend, et sort à l'extrémité supérieure.

On fait une distinction entre des tours de refroidissement avec une ventilation atmosphérique, et des tours de refroidissement avec une ventilation forcée. De grandes tours de refroidissement appliquent le principe de la ventilation atmosphérique. Ici, une différence de densité, entre l'air qui se trouve à l'intérieur et l'air qui se trouve à l'extérieur de la tour de refroidissement, assure le déplacement d'air. Dans le cas de petites tours de refroidissement, la différence en termes de densité ne suffit pas pour provoquer un déplacement d'air suffisant; elles sont ventilées de manière forcée par un ventilateur.





Représentation des changements d'état de l'air et de l'eau dans la tour de refroidissement dans le diagramme h,x



Principe d'une tour de refroidissement avec ventilation forcée

1 entrée de l'air, **2** bac collecteur, **3** sortie d'eau froide, **4** surface de ruissellement, **5** buse de répartition de l'eau, **6** entrée d'eau chaude, **7** sortie de l'air, **8** ventilateur

Dans une tour de refroidissement par voie humide ont lieu deux types de transmission de la chaleur. D'abord, la chaleur est directement transmise de l'eau à l'air par convection. En outre, l'eau se refroidit par évaporation partielle. L'élément décisif pour un bon fonctionnement de la tour de refroidissement par voie humide consiste en ce que l'air ne contienne pas trop d'humidité. Pour cette raison, la température de l'eau $\mathbf{T_{w2}}$ doit nettement dépasser la température de saturation (température de bulbe humide) $\mathbf{T_f}$ de l'air.



WL 320
Tour de refroidissement par voie humide



Description

- **principe et grandeurs caractéristiques d'une tour de refroidissement par voie humide à ventilation forcée**
- **colonne de refroidissement transparente et facile à remplacer avec surface de ruissellement**
- **quatre colonnes de refroidissement supplémentaires disponibles comme accessoires**

Les tours de refroidissement par voie humide sont une sorte de refroidissement en circuit fermé et d'évacuation de chaleur qui a fait ses preuves. Les domaines d'utilisation typiques sont: la climatisation, l'industrie lourde ainsi que les centrales électriques.

L'eau qui est à refroidir est pulvérisée sur des surfaces de ruissellement dans les tours de refroidissement par voie humide. L'eau et l'air entrent directement en contact par contre-courant. L'eau est alors refroidie par convection. Une partie de l'eau s'évapore et la chaleur d'évaporation extraite refroidit également l'eau.

La WL 320 étudie les principaux éléments ainsi que le principe d'une tour de refroidissement par voie humide à ventilation forcée. L'eau est chauffée dans un réservoir et transportée vers le pulvérisateur au moyen d'une pompe. Le pulvérisateur pulvérise l'eau à refroidir sur la surface de ruissellement. L'eau ruisselle de haut en bas, le long de la surface de ruissellement, pendant que l'air circule de bas en haut.

La chaleur est directement transférée de l'eau à l'air par convection et évaporation. La quantité d'eau évaporée est prise en compte. L'écoulement d'air est produit par un ventilateur et ajusté par une vanne papillon.

La colonne de refroidissement est transparente de sorte que la surface de ruissellement et l'eau qui ruisselle puissent être facilement observées. Les colonnes de refroidissement remplaçables WL 320.01 à WL 320.04) permettent des études comparatives.

Tous les paramètres importants du procédé sont pris en compte (le débit volumétrique d'air, les températures de l'air et de l'eau, l'humidité de l'air, le débit d'eau). Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Les changements d'état de l'air sont représentés sur un diagramme h,x.

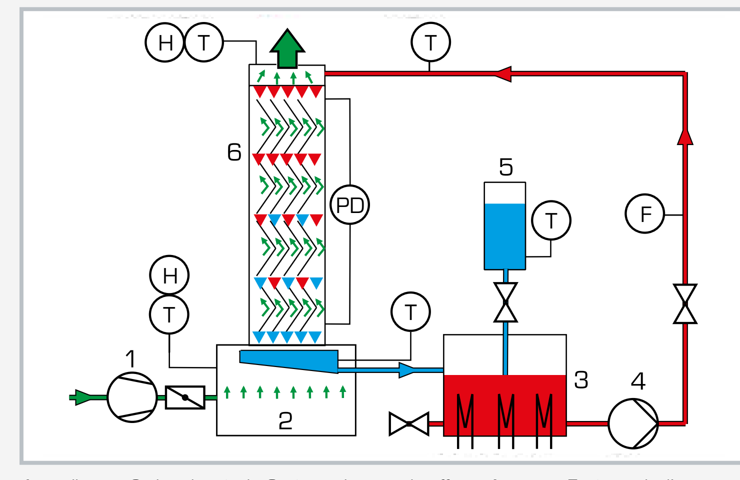
Contenu didactique/essais

- bases thermodynamiques d'une tour de refroidissement par voie humide
- changements d'état de l'air dans le diagramme h,x
- détermination de la puissance frigorifique
- bilans énergétiques
- calcul des paramètres du procédé, comme l'écart entre les limites de refroidissement, largeur de la zone de réfrigération, etc.
- en combinaison avec les colonnes de refroidissement WL 320.01-WL 320.04
  - comparaison entre différentes surfaces de ruissellement

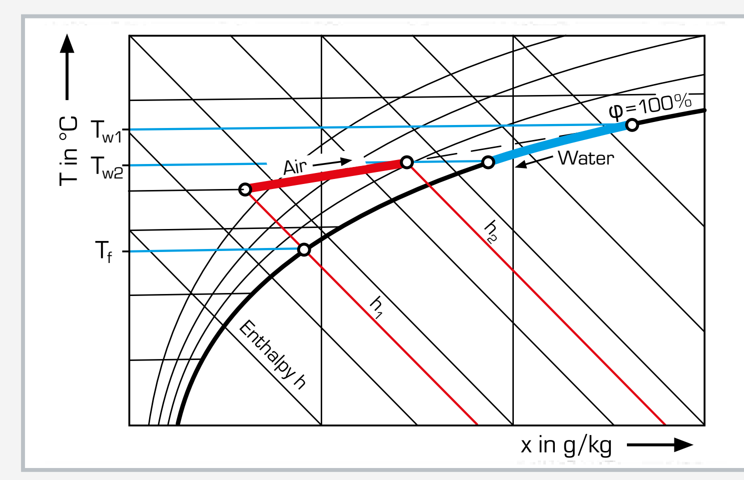
WL 320
Tour de refroidissement par voie humide



1 buse comme pulvérisateur, 2 surface de ruissellement, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 chambre à air, 5 ventilateur avec vanne papillon, 6 pompe, 7 réservoir avec dispositif de chauffage, 8 réservoir d'eau supplémentaire, 9 capteur combiné de température et d'humidité



1 ventilateur, 2 chambre à air, 3 réservoir avec chauffage, 4 pompe, 5 réservoir d'eau supplémentaire, 6 colonne de refroidissement avec surface de ruissellement; T température, H humidité, dp pression différentielle, F débit d'eau



Changements d'état de l'air et de l'eau sur le diagramme h,x comme représentation online sur le logiciel

Spécification

[1] principe d'une tour de refroidissement par voie humide à ventilation forcée avec colonne de refroidissement
[2] colonnes de refroidissement avec différentes surfaces de ruissellement disponibles comme accessoires
[3] circuit d'eau avec pompe, filtre, soupape et une buse comme pulvérisateur
[4] dispositif de chauffage à trois niveaux avec thermostat pour préparation de l'eau chaude
[5] ventilateur radial pour la ventilation forcée
[6] vanne papillon pour l'ajustage de l'écoulement d'air
[7] séparateur de gouttelettes à la sortie de la colonne de refroidissement permettant de minimiser la perte d'eau
[8] réservoir d'eau supplémentaire pour compenser la perte d'eau
[9] affichage de la température, de la pression différentielle, du débit et de l'humidité
[10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Colonne de refroidissement
- surface spécifique de la surface de ruissellement: 110m²/m³, section: 150x150mm

Mesure du débit volumétrique d'air par diaphragme: Ø 80mm
Dispositif de chauffage
- ajustable sur 3 niveaux:
  - 500W
  - 1000W
  - 1500W

Thermostat: se débranchant à 50°C
Ventilateur
- puissance absorbée: 250W
- différence de pression max.: 430Pa
- débit volumétrique max.: 13m³/min

Pompe
- hauteur de refoulement max.: 70m
- débit de refoulement max.: 100L/h

Réservoir d'eau supplémentaire: 4,2L

Plages de mesure
- pression différentielle: 0...1000Pa (air)
- débit: 12...360L/h (eau)
- température: 2x 0...50°C, 3x 0...100°C
- humidité rel.: 10...100%

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1100x470x1230mm
Poids: env. 120kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 colonne de refroidissement de type 1
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 225
Transfert de chaleur dans un lit fluidisé



Description

■ **formation d'un lit fluidisé avec de l'air dans un réacteur en verre**
■ **réacteur en verre éclairé pour une observation optimale du procédé de fluidisation**

Les lits fluidisés sont très répandus, par exemple dans le cadre du séchage industriel, de la combustion en lit fluidisé ou du traitement thermique des matières premières. En étant traversées par un fluide en mouvement, les couches de particules solides peuvent passer du stade de lit fixe au stade de lit fluidisé. En termes de mécanique des fluides et de propriétés thermodynamiques, le lit fluidisé se comporte comme un fluide incompressible.

Le transfert de chaleur entre le fluide chaud et un lit solide se fait essentiellement par le biais de la conduction thermique. Dans le lit fluidisé, le mouvement des particules permet d'obtenir un très bon mélange. Le mélange permet un transfert de chaleur optimal entre le fluide et les particules. La température est ainsi répartie de manière très homogène dans le réacteur.

L'élément central WL 225 est un réacteur en verre avec fond rétro-éclairé, permettant d'observer le procédé de fluidisation. De l'air comprimé remonte en passant par une plaque frittée poreuse. Une couche de particules solides se trouve sur la plaque frittée. Si la vitesse de l'air est inférieure à la vitesse de mise en suspension, la couche de particules solides est seulement traversée. Dans le cas de vitesses plus élevées, la couche se fluidise de manière à ce que les particules solides se mettent en suspension, entraînant la formation d'un lit fluidisé. L'air sort par l'extrémité supérieure du réacteur en verre en passant au travers d'un filtre.

La quantité d'air est ajustée au moyen d'une soupape et mesurée avec un débitmètre. La pression à l'entrée du réacteur et dans le lit fluidisé est également mesurée.

Un élément chauffant escamotable situé dans le réacteur permet d'étudier le transfert de chaleur dans le lit fluidisé. Les températures sont mesurées au moyen de capteurs situés au niveau de l'entrée d'air du réacteur, à la surface de l'élément chauffant et dans le lit fluidisé, et affichées numériquement. La puissance de l'élément chauffant est également affichée numériquement.

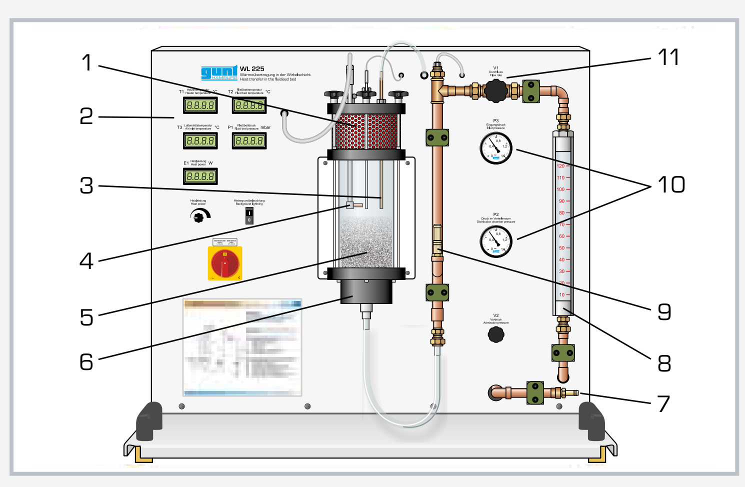
Le lit fixe fourni est composé de particules d'oxyde d'aluminium de différentes tailles.

Contenu didactique/essais

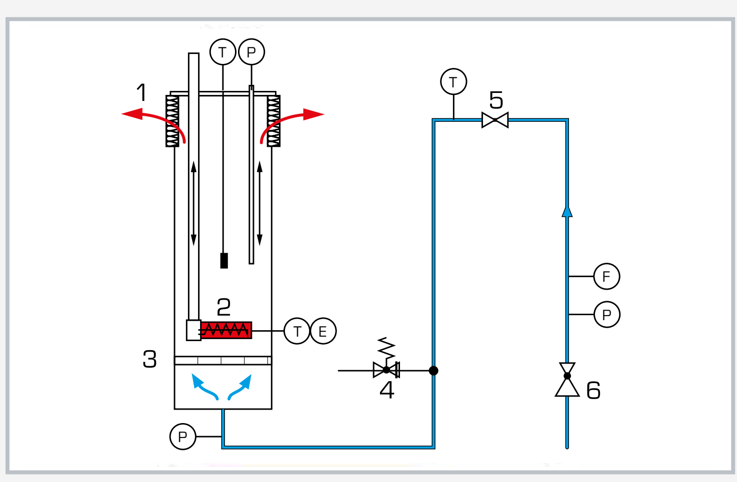
■ bases de la fluidisation des lits fixes
■ évolution de la pression à l'intérieur du lit
■ pertes de pression en fonction de
 ▸ la vitesse d'écoulement
 ▸ la taille des particules du lit fixe
■ détermination de la vitesse de fluidisation

■ transfert de chaleur dans le lit fluidisé
 ▸ influence de la quantité d'air sur le transfert de chaleur
 ▸ influence de la position du dispositif de chauffage
 ▸ influence de la taille de particules
 ▸ détermination des coefficients de transfert de chaleur

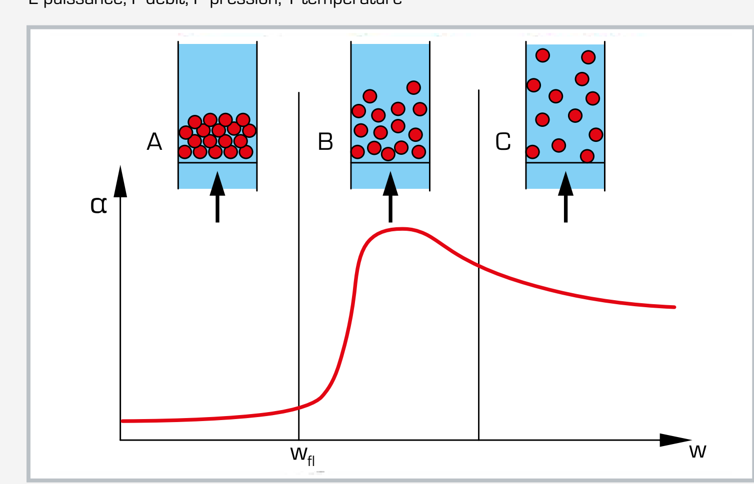
WL 225
Transfert de chaleur dans un lit fluidisé



1 filtre à air, 2 panneau d'affichage et de commande, 3 capteur de pression lit fluidisé, 4 dispositif de chauffage, 5 réacteur avec lit fluidisé, 6 fond du réacteur en métal fritté avec chambre de distribution, 7 raccord d'air comprimé, 8 débitmètre, 9 soupape de sécurité, 10 manomètre, 11 soupape d'ajustage du débit d'air



1 filtre à air, 2 élément chauffant coulissant, 3 plaque frittée, 4 soupape de sécurité, 5 soupape d'ajustage de la quantité d'air, 6 soupape de réduction de pression;
E puissance, F débit, P pression, T température



Dépendance du coefficient de transfert de chaleur α par rapport à la vitesse d'écoulement w: A lit fixe, B lit fluidisé, C distribution des corps solides, w_{fl} vitesse de fluidisation

Spécification

[1] étude de la formation du lit fluidisé et du transfert de chaleur dans le lit fluidisé
[2] lit fluidisé composé d'air comprimé et d'oxyde d'aluminium, tailles des particules au choix, 100µm ou 250µm
[3] réacteur en verre, rétro-éclairé
[4] réacteur en verre avec plaque frittée à l'entrée, et filtre à air à la sortie
[5] élément chauffant, escamotable et avec puissance ajustable
[6] ajustage manuel de la quantité d'air au moyen d'une soupape et d'un débitmètre
[7] instrumentation: capteur de température sur le dispositif de chauffage, entrée d'air dans le lit fluidisé, mesure de la pression avant et dans le réacteur (manomètre, capteur de pression), débitmètre pour la mesure de la quantité d'air, puissance de l'élément chauffant
[8] affichages numériques des températures, puissance, pression dans le lit fluidisé
[9] règles graduées en acier pour la mesure de la profondeur d'immersion de l'élément chauffant et de la hauteur du lit fluidisé
[10] soupape de sécurité, interrupteur thermique sur le dispositif de chauffage, filtre à air à la sortie

Caractéristiques techniques

Réacteur en verre
■ capacité: 2150mL
■ volume de remplissage: env. 1000mL
■ pression de service: 500mbar

Élément chauffant
■ puissance: 0...100W

Plages de mesure
■ température: 1x 0...100°C, 2x 0...400°C
■ débit: 0...6,5Nm^3/h
■ pression: 1x 0...25mbar, 2x 0...1600mbar
■ puissance: 0...200W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 910x560x800mm
Poids: env. 65kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'air comprimé: min. 2bar

Liste de livraison

1 appareil d'essai
2kg d'oxyde d'aluminium, 100µm
2kg d'oxyde d'aluminium, 250µm
1 règle graduée en acier
1 flexible
1 documentation didactique

3 Machines à fluide thermiques

Introduction

Aperçu Machines à fluide thermiques 112

Centrales thermiques à vapeur

Connaissances de base Centrales thermiques à vapeur 114
ET 860 Dispositifs de sécurité sur les chaudières à vapeur 116
ET 805.50 Détermination du titre de la vapeur 118
Aperçu ET 805 à ET 851 Centrales thermiques à vapeur de GUNT 120
ET 810 Centrale thermique à vapeur avec machine à vapeur 122
Aperçu ET 813 + ET 813.01 + HM 365 Installation d'essai avec une machine à vapeur à deux cylindres 124
ET 813 Machine à vapeur à deux cylindres 126
Aperçu ET 850 + ET 851 Centrale thermique à vapeur à l'échelle de laboratoire 128
ET 850 Générateur de vapeur 130
ET 851 Turbine à vapeur axiale 132
ET 830 Centrale thermique à vapeur 1,5 kW 134
Aperçu ET 833 Centrale thermique à vapeur 1,5 kW avec système de conduite de procédés 136
ET 833 Centrale thermique à vapeur 1,5 kW avec système de conduite de procédés 138
ET 805 Centrale thermique à vapeur 20 kW avec système de conduite de procédés 140

Turbines à gaz

Connaissances de base Turbines à gaz 142
ET 792 Turbine à gaz 144
ET 795 Simulateur d'une turbine à gaz 146
ET 794 Turbine à gaz avec turbine de puissance 148
ET 796 Turbine à gaz comme moteur à réaction 150

Compresseurs à piston

Connaissances de base Compresseurs 152
ET 500 Compresseur à piston bi-étagé 154
ET 513 Compresseur à piston à un étage 156
ET 432 Comportement d'un compresseur à piston 158
ET 508 Simulateur d'un compresseur bi-étagé 160
ET 512 Installation de génération d'air comprimé avec compresseur à piston 162

Moteurs à combustion interne

Connaissances de base Moteurs à combustion interne 164
Aperçu Bancs d'essai pour moteurs à combustion interne 166
Aperçu CT 159 Banc d'essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2 kW 168
CT 150 Moteur essence quatre temps pour CT 159 170
CT 151 Moteur diesel quatre temps pour CT 159 171
CT 152 Moteur essence quatre temps à compression variable pour CT 159 172
CT 153 Moteur essence deux temps pour CT 159 173
CT 159 Banc d'essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2 kW 174
Aperçu CT 110 Banc d'essai pour moteurs monocylindres, 7,5 kW 176
CT 100.20 Moteur essence quatre temps pour CT 110 178
CT 100.21 Moteur essence deux temps pour CT 110 179
CT 100.22 Moteur diesel quatre temps pour CT 110 180
CT 100.23 Moteur diesel quatre temps, refroidi par eau, pour CT 110 181
CT 110 Banc d'essai pour moteurs monocylindres, 7,5 kW 182
Aperçu CT 300 Banc d'essai pour moteurs deux cylindres, 11 kW 184
CT 300.04 Moteur essence deux cylindres pour CT 300 186
CT 300.05 Moteur diesel deux cylindres pour CT 300 187
CT 300 Banc d'essai pour moteurs, 11 kW 188
Aperçu CT 400 Banc d'essai pour moteurs quatre cylindres, 75 kW 190
CT 400.01 Moteur essence quatre cylindres pour CT 400 192
CT 400.02 Moteur diesel quatre cylindres pour CT 400 194
CT 400 Unité de charge, 75 kW, pour moteurs quatre cylindres 196

Machines à fluide thermiques

Classification des machines à fluide thermiques

La modification de la densité est une caractéristique qui permet de différencier les machines à fluide thermiques des machines à fluide hydrauliques.

- **machines à fluide thermiques:** densité variable du fluide
- **machines à fluide hydrauliques:** densité constante

Machines à fluide thermiques: densité variable du fluide



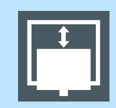
Machines réceptrices
De l'énergie est apportée dans le fluide



Turbomachines
Transfert d'énergie entre le fluide et la machine par l'intermédiaire de forces d'écoulement

- soufflante
- ventilateur
- compresseur radial





Machines volumétriques
Transfert d'énergie entre le fluide et la machine sous l'effet d'une modification de volume produite par un plongeur

- compresseur à piston
- compresseur à vis
- compresseur à palettes





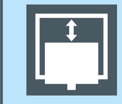
Machines motrices
De l'énergie est retirée au fluide



Turbomachines
Transfert d'énergie entre le fluide et la machine par l'intermédiaire de forces d'écoulement

- turbine éolienne
- turbine à vapeur
- turbine à gaz
- moteur à réaction





Machines volumétriques
Transfert d'énergie entre le fluide et la machine sous l'effet d'une modification de volume produite par un plongeur

- moteur à combustion interne
- machine à vapeur
- moteur Stirling
- moteur à air comprimé

Le tableau montre un extrait de programme classique de l'enseignement technique supérieur. Le programme pédagogique du cours sur les **"machines à fluide thermiques"** est similaire.

Sa structure peut varier selon la dominante choisie, comme c'est aussi le cas pour les machines à fluide. Les appareils GUNT couvrent très largement ces sujets.

Machines motrices thermiques	Produits GUNT
Machines thermiques	
Turbines à vapeur	ET 805, ET 830, ET 833, ET 851
Turbine à action	ET 851, HM 270 (Catalogue 4a)
Turbine à réaction	HM 272 (Catalogue 4a)
Centrale électrique à vapeur	ET 805, ET 810, ET 813, ET 830, ET 833, ET 850/851
Turbines à gaz	ET 792 – ET 796
Construction avec compresseur/chambre de combustion	ET 792
Installation de turbine à gaz	ET 795
Turbine comme machine à expansion	ET 792 – ET 796
Moteurs à combustion interne	CT 159-Série, CT 100-Série, CT 300-Série, CT 400-Série
Moteur Otto (à quatre temps)	CT 100.20, CT 150, CT 152, CT 300.04
Moteur diesel (à quatre temps)	CT 100.22, CT 100.23, CT 151, CT 300.05, CT 400.02
Procédé à deux temps	CT 100.21, CT 153
Machines réceptrices thermiques	**Produits GUNT**
Compresseur	
Compresseur à piston	ET 432, ET 500, ET 508, ET 513, HM 299 (Catalogue 4a)
Compresseur rotatif	HM 299 (Catalogue 4a)
Compresseur radial	HM 292 (Catalogue 4a)

Connaissances de base

Centrales thermiques à vapeur

Les centrales thermiques à vapeur jouent un rôle central dans l'approvisionnement en énergie électrique. En plus de la production d'électricité, une partie de la chaleur produite par les centrales thermiques à vapeur est parfois utilisée pour alimenter le chauffage urbain. Le cycle de vapeur selon Clausius-Rankine est aujourd'hui encore l'un des cycles les plus importants et les plus répandus dans l'industrie.

Dans une centrale thermique à vapeur, une turbine à vapeur entraînée par de la vapeur produit de l'énergie mécanique. Cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique dans des générateurs. La vapeur requise peut être produite p.ex. au moyen d'énergie nucléaire, de combustibles fossiles, d'énergie solaire ou par géothermie.

Grâce à des optimisations de processus, le rendement de la production d'énergie électrique n'a cessé d'augmenter ces dernières années. Le rendement global actuel est proche de 45 %.

Les centrales thermiques à vapeur présentent un principe de construction similaire:

Source de chaleur	Générateur de vapeur	Turbine avec générateur	Refroidissement

On distingue les types suivants de centrales thermiques à vapeur, en fonction de la source de chaleur qui fournit l'énergie thermique:

Centrale nucléaire

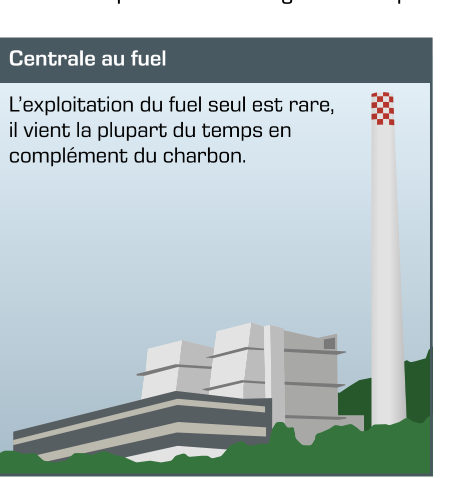


Centrale à charbon



Centrale au fuel

L'exploitation du fuel seul est rare, il vient la plupart du temps en complément du charbon.



Centrale solaire et centrale thermique solaire



Centrale thermique à turbines au gaz et à vapeur



Principes de base théoriques du cycle d'une centrale thermique à vapeur

Cycle de Clausius-Rankine

On utilise le cycle de Clausius-Rankine pour analyser, évaluer et comparer entre elles les centrales thermiques à vapeur. Ce cycle thermodynamique décrit la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique, et inversement. Comme c'est le cas pour tous les cycles thermodynamiques, il ne peut pas dépasser le rendement du cycle de Carnot correspondant.

Dans les centrales thermiques à vapeur, l'énergie thermique d'un fluide de travail (habituellement l'eau, mais cela peut être aussi p.ex. l'ammoniac) est d'abord transformée en énergie mécanique. Pour ce faire, le fluide de travail est alternativement condensé à basse pression, et évaporé à haute pression. La pression est appliquée par la pompe d'alimentation en absorbant du travail, et déchargée dans la turbine en libérant du travail. Le fluide de travail est acheminé dans un cycle fermé.

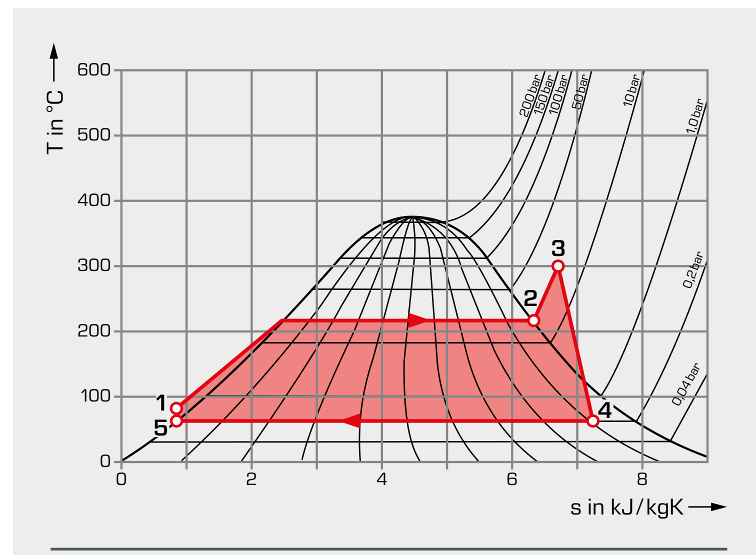


Diagramme T,s de la centrale thermique à vapeur

Le diagramme T,s montre le cycle de Clausius-Rankine d'une centrale thermique à vapeur.
Le fluide de travail est l'eau ou la vapeur d'eau.

1 – 2
l'eau subit un chauffage **isobare** dans une chaudière à une pression de chaudière de 22 bar, et s'évapore

2 – 3
surchauffage **isobare** de la vapeur à 300°C

3 – 4
la vapeur subit une expansion **polytropique** dans la turbine à vapeur et passe à une pression de 0,2 bar, ce qui libère de l'énergie mécanique

Point 4
zone de vapeur humide: le titre de la vapeur n'est plus que de 90 %

4 – 5
condensation de la vapeur

5 – 1
augmentation de la pression sur la pression de chaudière par la pompe à condensat et à eau d'alimentation, le cycle est bouclé

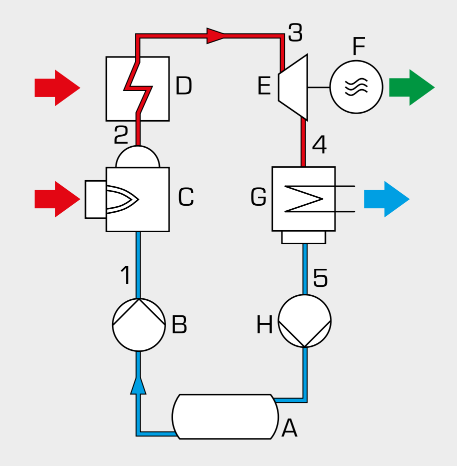


Schéma de processus de la centrale thermique à vapeur

A réservoir d'eau d'alimentation, **B** pompe à eau d'alimentation, **C** chaudière, **D** surchauffeur, **E** turbine à vapeur, **F** générateur, **G** condenseur, **H** pompe à condensat;

énergie thermique, température basse,
énergie thermique, température élevée,
énergie mécanique / électrique

ET 860
Dispositifs de sécurité sur les chaudières à vapeur



Description

- **simulation du fonctionnement d'une chaudière avec régulation de la pression et du niveau d'eau**
- **chaîne de sécurité avec composants disponibles dans le commerce**
- **chaudière transparente, parfaite visibilité du niveau d'eau**

Dans une chaudière à vapeur, la pression et la température augmentent sous l'effet d'un apport permanent en énergie, si bien que la phase liquide du fluide, le plus souvent de l'eau, se transforme en phase vapeur. Les chaudières sont surveillées par des dispositifs de sécurité montés électriquement en série pour former ce qu'on appelle une "chaîne de sécurité". Si l'un des organes de surveillance ou de commande se déclenche, une alarme se déclenche, toute l'installation est mise à l'arrêt, et la partie menacée de l'installation est mise hors tension.

Le banc d'essai ET 860 permet de simuler une chaudière avec laquelle on peut montrer le mode de fonctionnement et la réponse d'une chaîne de sécurité, conformément aux dispositions légales. Le banc d'essai dispose d'un circuit d'eau fermé composé d'un réservoir d'alimentation, d'une pompe et d'un modèle de chaudière transparente avec brûleur. La chaudière est équipée de composants industriels de régulation ou de surveillance, du niveau d'eau et de la pression. Les composants utilisés sont en relation étroite avec la pratique. La chaîne de sécurité du brûleur est construite de manière à être fonctionnelle. Le fonctionnement du brûleur est simulé.

En plus des dispositifs de sécurité, l'installation est équipée de 15 circuits de panne. Ces derniers permettent de simuler un dysfonctionnement des composants de l'installation, et de s'exercer à localiser les pannes.

Le niveau d'eau et la pression sont enregistrés par des capteurs. Les valeurs mesurées sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le schéma de processus avec les composants de sécurité, les évolutions de la pression et une représentation du niveau d'eau, peuvent être observés dans le logiciel.

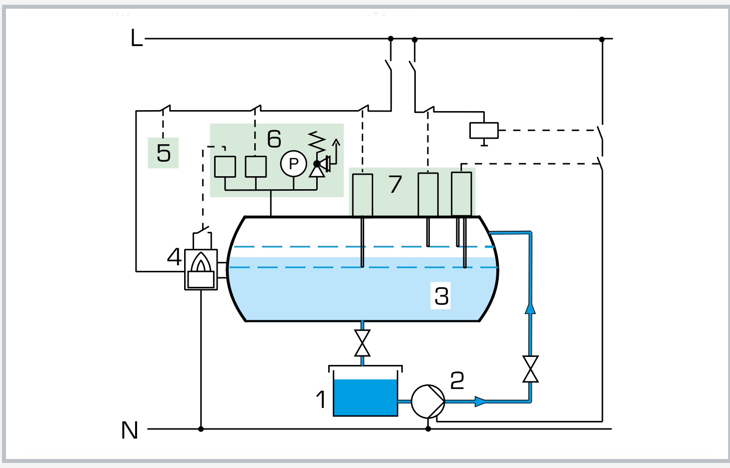
Contenu didactique/essais

- modèle d'une chaudière à vapeur à mazout avec tous les composants d'exploitation et de sécurité
- caractéristiques des organes de surveillance
- simulation de pannes
  - brûleur avec surveillance de flamme
  - manostat et limiteur
  - régulateur d'eau d'alimentation et de niveau
  - capteurs de niveau d'eau haut et bas

ET 860
Dispositifs de sécurité sur les chaudières à vapeur



1 surveillance du niveau d'eau, 2 brûleur, 3 modèle de chaudière à vapeur, 4 réservoir d'alimentation, 5 armoire de commande, 6 coffret de commande pour des pannes, 7 dispositifs de mesure de la pression



Chaîne de sécurité sur une chaudière
1 réservoir d'alimentation, 2 pompe d'eau d'alimentation, 3 chaudière, 4 brûleur, 5 contrôle du temps, 6 surveillance de la pression, 7 surveillance du niveau d'eau;
vert: chaîne de sécurité conformément aux dispositions légales, bleu: eau



Capture d'écran du logiciel: comportement du brûleur, du limiteur de pression et du manostat en cas d'augmentation de la pression dans la chaudière

Spécification

[1] simulation du fonctionnement d'une chaudière à vapeur
[2] régulation du niveau d'eau et de la pression, et circuits de panne
[3] 15 pannes qui déclenchent la chaîne de sécurité
[4] chaîne de sécurité conformément aux dispositions légales se compose: d'électrodes de niveau, de manostat, de limiteur de pression
[5] chaudière transparente pour l'observation du niveau d'eau
[6] simulation de la pression de vapeur par air comprimé
[7] simulation du fonctionnement du brûleur
[8] plaque frontale avec un schéma de processus, des lampes témoin et des connecteurs de laboratoire
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Capacité de la chaudière: 11OL
Capacité du réservoir d'alimentation: 15OL

Pompe
- puissance absorbée: 40...70W
- débit max.: 66L/min
- hauteur manométrique max.: 4m

Manostat: 0,5...6bar
Limiteur de pression: 0,5...6bar
Soupape de sécurité: 6bar

Plages de mesure
- pression: 0...6bar
- niveau: 0...100%

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1850x790x1800mm
Poids: env. 220kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'air comprimé: 5bar
PC avec Windows

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 multimètre
1 jeu de câbles de laboratoire
1 documentation didactique

ET 805.50
Détermination du titre de la vapeur



Contenu didactique/essais

- détermination du titre de la vapeur avec
  - calorimètre à séparation avec un séparateur d'eau avec siphon
  - un calorimètre à étranglement avec détente de la vapeur
- utilisation d'un diagramme h,s

Description

- **deux possibilités différentes pour la détermination du titre de la vapeur**

Le titre de la vapeur x est un rapport sans dimension compris entre 0 et 1. Il est le résultat du quotient de la masse de vapeur par la masse totale. La masse totale est le résultat de la somme de la masse liquide et de la masse de vapeur. Avec un titre de la vapeur de x=0, le fluide d'évaporation est entièrement en phase liquide; avec x=1, la vapeur est sèche et saturée; et entre les deux, le système se trouve sous forme de vapeur humide avec une fraction variable en liquide. Pour le calcul du titre de la vapeur, on utilise des calorimètres à étranglement et à séparation. Dans la pratique, les dispositifs de détermination du titre de la vapeur sont utilisés dans les centrales thermiques à vapeur, derrière les turbines à vapeur ou sur les chaudières, devant le surchauffeur.

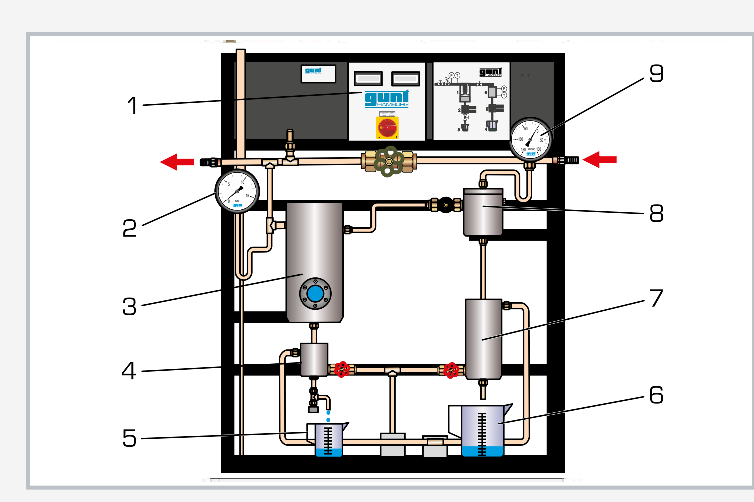
Le banc d'essai ET 805.50 suit un procédé en deux étapes pour déterminer le titre de la vapeur. Pour déterminer des titres de la vapeur ayant une fraction de liquide élevée, 0,5<x<0,95, on utilise un calorimètre à séparation avec un séparateur d'eau avec siphon. La fraction de liquide est séparée, refroidie et collectée dans un gobelet gradué.

Pour déterminer des titres de la vapeur compris entre x=0,95 et x=1, on utilise un calorimètre à étranglement raccordé en aval. La vapeur humide est alors détendue. Après la détente, la fraction restante de vapeur est condensée au sein d'un condenseur refroidi par eau, puis également collectée dans un gobelet gradué. Les deux données de mesure permettent de déterminer la masse de vapeur et la masse totale utilisées pour le calcul du titre de la vapeur.

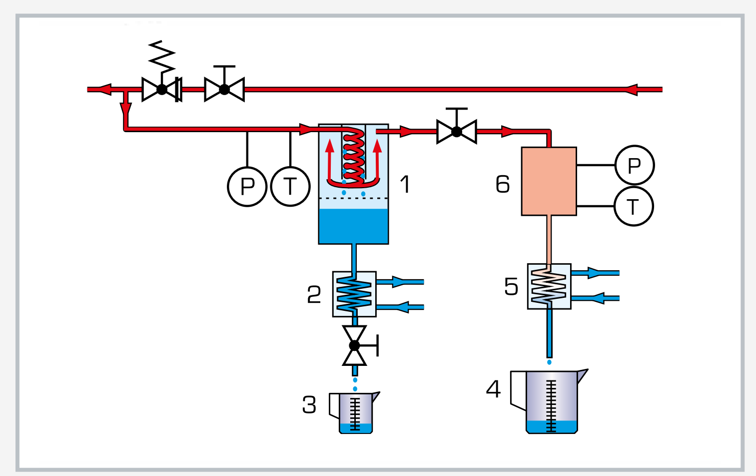
Les capteurs mesurent la pression et la température avant et après la détente. À partir des résultats de mesure, on détermine le titre de la vapeur au moyen du diagramme h,s.

La vapeur d'eau doit être produite en externe, p.ex. en utilisant le générateur de vapeur électrique WL 315.02. Le ET 805.50 est recommandé pour la détermination du titre de la vapeur dans les centrales thermiques à vapeur ET 805, ET 830, ET 850 ou ET 833.

ET 805.50
Détermination du titre de la vapeur



1 affichages de température, 2 manomètres de l'entrée de vapeur, 3 séparateur d'eau avec siphon, 4 refroidisseur pour eau de séparation, 5 gobelet gradué pour eau de séparation, 6 gobelet gradué pour vapeur condensée, 7 condenseur, 8 réservoir de détente de la vapeur, 9 manomètre du procédé de détente; rouge: entrée et sortie de vapeur



1 séparateur d'eau avec siphon, 2 refroidisseur, 3 gobelet gradué pour eau de séparation, 4 gobelet gradué pour vapeur condensée, 5 condenseur, 6 réservoir de détente de la vapeur; rouge: vapeur humide, orange: vapeur détendue, bleu: eau; P pression, T température

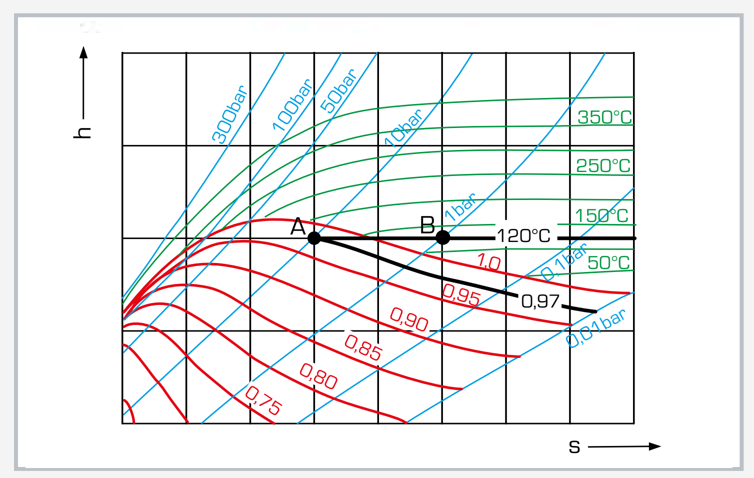


Diagramme h,s; h enthalpie, s entropie; rouge: titre de la vapeur, vert: température, bleu: pression; noir: exemple de résultat de mesure: A vapeur à 10bar, B vapeur après détente adiabatique à 1bar, titre de la vapeur 0,97

Spécification

[1] deux possibilités différentes pour la détermination du titre de la vapeur
[2] calorimètre à séparation pour le titre de la vapeur 0,5<x<0,95, avec refroidisseur refroidi par eau
[3] calorimètre à étranglement pour le titre de la vapeur x>0,95, avec condenseur refroidi par eau
[4] soupape de sécurité pour un fonctionnement sécurisé
[5] la vapeur d'eau doit être fournie par un générateur de vapeur externe, p.ex. le générateur de vapeur électrique WL 315.02
[6] accessoire pour les centrales thermiques à vapeur ET 805, ET 830, ET 850, ET 833

Caractéristiques techniques

Alimentation en vapeur
- température max.: 240°C
- pression max.: 10bar

Soupape de sûreté: 10bar

Plages de mesure
- température: 0...400°C
- pression (entrée): 0...16bar
- pression (sortie): -150...100mbar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 890x800x1890mm
Poids: env. 90kg

Nécessaire pour le fonctionnement

vapeur: max. 10bar, 240°C
raccord d'eau, drain

Liste de livraison

1 banc d'essai
2 gobelets gradués
1 jeu de poids
1 documentation didactique



ET 805 à ET 851
Centrales thermiques à vapeur de GUNT

Avec les centrales thermiques à vapeur de GUNT pour le laboratoire et la réalisation d'essais, il est possible d'enseigner cette thématique importante des études techniques en gardant un lien étroit avec la pratique. Elles permettent en particulier d'étudier et de comprendre le comportement des centrales thermiques à vapeur dans différentes conditions de fonctionnement. L'utilisation de composants réels permet aussi d'aborder des aspects tels que l'entretien, la réparation, les techniques de mesure, de commande et de régulation.

ET 810
Centrale thermique à vapeur avec machine à vapeur (5 W)

ET 813 Machine à vapeur à deux cylindres (500 W) avec HM 365 Dispositif de freinage et d'entraînement universel et ET 813.01 Générateur de vapeur électrique

ET 850 Générateur de vapeur et ET 851 Turbine à vapeur axiale (50 W)

GUNT propose un programme très complet de centrales thermiques à vapeur

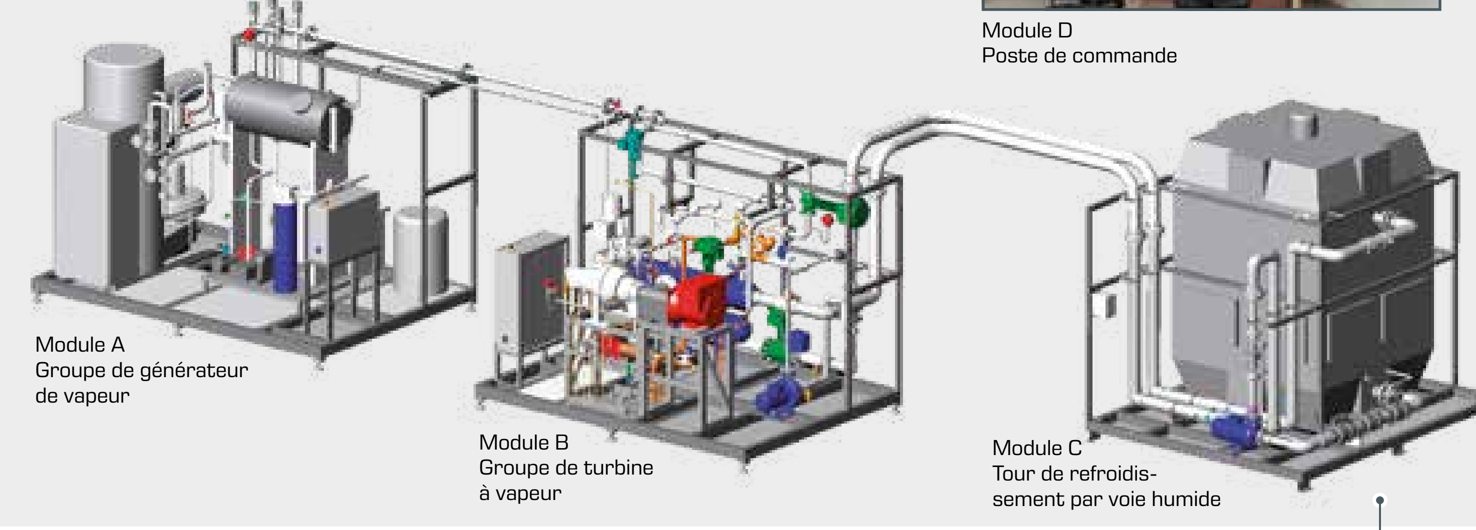
Le spectre des centrales thermiques à vapeur de GUNT va de l'installation de démonstration simple d'une puissance de quelques watts, jusqu'à la centrale thermique à vapeur complexe avec système de conduite de procédés et une puissance de 20 kW (ET 805), en passant par des systèmes modulaires situés dans une plage de puissances moyennes.

Grâce à sa taille et à sa complexité, l'ET 805 correspond sur de nombreux points au comportement en service des installations industrielles réelles, et permet donc un apprentissage très proche de la pratique. L'installation ET 805 est composée de trois modules séparés ainsi que d'un poste de commande.

ET 805 Centrale thermique à vapeur 20 kW avec système de conduite de procédés



Module D
Poste de commande



Module A
Groupe de générateur de vapeur

Module B
Groupe de turbine à vapeur

Module C
Tour de refroidissement par voie humide



ET 830
Centrale thermique à vapeur 1,5 kW

ou

ET 833
Centrale thermique à vapeur 1,5 kW avec système de conduite de procédés

5 W | 50 W | 500 W | 1.500 W | 20.000 W

ET 810
Centrale thermique à vapeur avec machine à vapeur



Description

■ **modèle fonctionnel de centrale thermique à vapeur**
■ **démonstration du fonctionnement d'une machine à vapeur**

Dans une machine à vapeur, l'énergie thermodynamique, sous forme de vapeur sous pression produite par des générateurs de vapeur, est convertie en énergie mécanique. Celle-ci est ensuite utilisée pour produire de l'électricité, ou pour l'entraînement de machines et de véhicules.

Une centrale thermique à vapeur est constituée d'une source de chaleur produisant la vapeur, d'une turbine ou machine à vapeur avec générateur, ainsi que d'un dispositif de refroidissement pour la condensation de la vapeur.

Le banc d'essai ET 810 comprend les composants essentiels d'une centrale thermique à vapeur: une chaudière au gaz, une machine à vapeur à piston monocylindre avec générateur, un condenseur, un réservoir d'eau d'alimentation, ainsi qu'une pompe à eau d'alimentation.

La chaudière produit de la vapeur d'eau qui est ensuite amenée à la machine à vapeur à piston. L'énergie de la vapeur est transformée par un piston et un mécanisme bielle-manivelle en énergie mécanique. Un générateur, constitué d'un moteur à courant continu, produit de l'électricité à partir de l'énergie mécanique. Quatre lampes à incandescence consomment l'énergie électrique ainsi produite. La vapeur d'évacuation est liquéfiée dans un condenseur refroidi à l'eau.

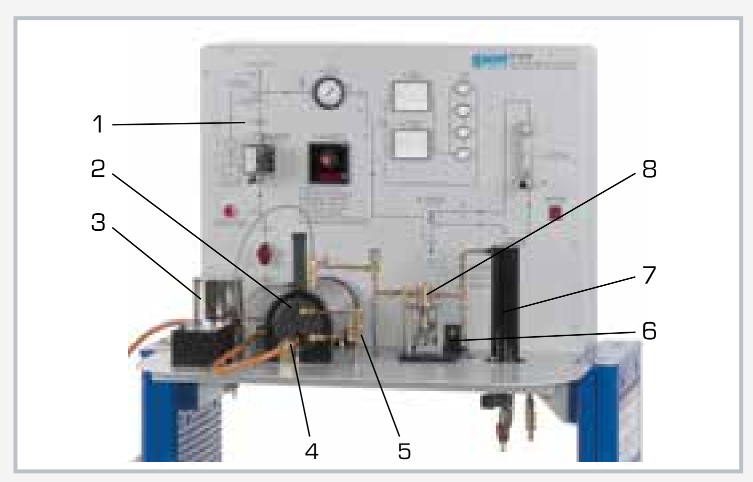
Des dispositifs de sécurité pour la surveillance de la température de la chaudière, ainsi qu'une soupape de sécurité, assurent la sécurité du fonctionnement.

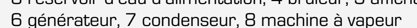
Des capteurs mesurent la température, la pression et le débit à tous les points significatifs. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages. Le courant et la tension du générateur sont mesurés et affichés sur l'appareil d'essai.

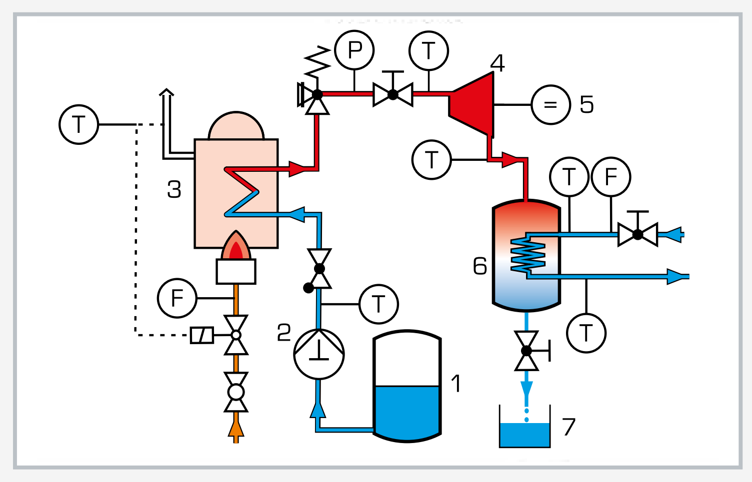
Contenu didactique/essais

■ démonstration du fonctionnement d'une machine à vapeur
■ se familiariser avec les composants d'une centrale thermique à vapeur et leurs interactions
■ enregistrement de la courbe de pression de la vapeur
■ effet de la revaporisation et de la réalimentation en eau froide
■ détermination de la consommation de combustible, de la quantité de vapeur produite, du rendement de la chaudière, ainsi que de la puissance du condenseur

ET 810
Centrale thermique à vapeur avec machine à vapeur



1 schéma de processus avec éléments d'affichage et de commande, 2 chaudière à vapeur, 3 réservoir d'eau d'alimentation, 4 brûleur, 5 affichage du niveau d'eau dans la chaudière,

6 générateur, 7 condenseur, 8 machine à vapeur



1 réservoir d'eau d'alimentation, 2 pompe d'eau d'alimentation, 3 chaudière à vapeur, 4 machine à vapeur, 5 générateur, 6 condenseur, 7 réservoir de condensat; T température, P pression, F débit; orange: gaz, rouge: vapeur, bleu: eau

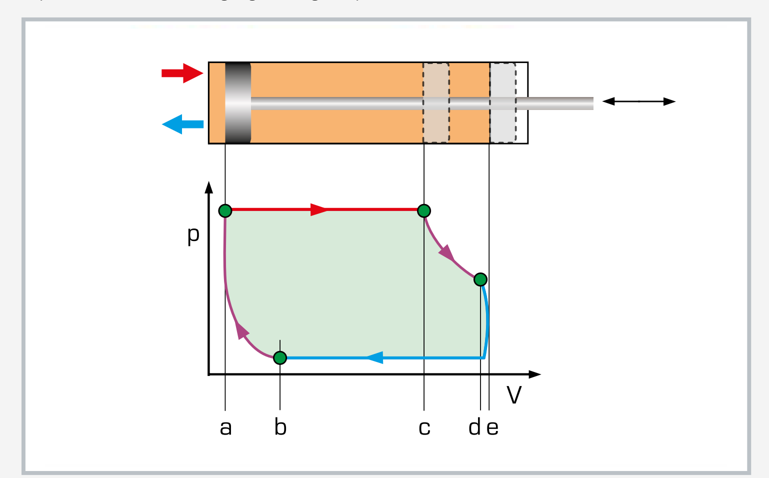


Diagramme p-V: p pression, V volume; a point mort supérieur et ouverture de l'admission, c fermeture de l'admission, d ouverture de l'échappement, b fermeture de l'échappement; rouge: admission, bleu: échappement, vert: travail fourni, violet: la compression et la détente

Spécification

[1] démonstration d'une centrale thermique à vapeur avec machine à vapeur à piston un cylindre
[2] chaudière chauffée au gaz pour la production de vapeur
[3] condenseur refroidi par eau
[4] générateur de courant continu
[5] lampes à incandescence comme consommateurs
[6] capteurs et écran pour la température, la pression, le débit, la tension et l'intensité
[7] soupape de sécurité et surveillance de la température pour un fonctionnement sécurisé

Caractéristiques techniques

Machine à vapeur
■ puissance: max. 5W
■ vitesse de rotation: max. 1200min^{-1}
■ cylindre: Ø 20mm

Générateur
■ moteur à courant continu: max. 3,18W à 6000min^{-1}

Chaudière chauffée au gaz
■ soupape de sécurité: 4bar
■ raccord de gaz 3/8"L (propane ou butane)

Plages de mesure
■ température: 8x -20...200°C
■ pression: 0...6bar
■ débit:
  ▸ 0...110L/h (gaz)
  ▸ 15...105L/h (eau)
■ tension: 0...10VDC
■ courant: 0...250mA

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1700x810x1440mm
Poids: env. 110kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, alimentation en gaz 3/8"L (gaz propane ou butane)

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu de flexibles
1 huile (100mL)
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



ET 813 + ET 813.01 + HM 365 Installation d'essai avec une machine à vapeur à deux cylindres

Composée d'une machine à vapeur à deux cylindres ET 813, d'un générateur de vapeur électrique ET 813.01 et d'un dispositif de freinage et d'entraînement universel HM 365, l'installation d'essai décrit le cycle typique d'une centrale thermique à vapeur. La disposition claire et l'instrumentation complète permettent d'observer et de comprendre toutes les fonctions.

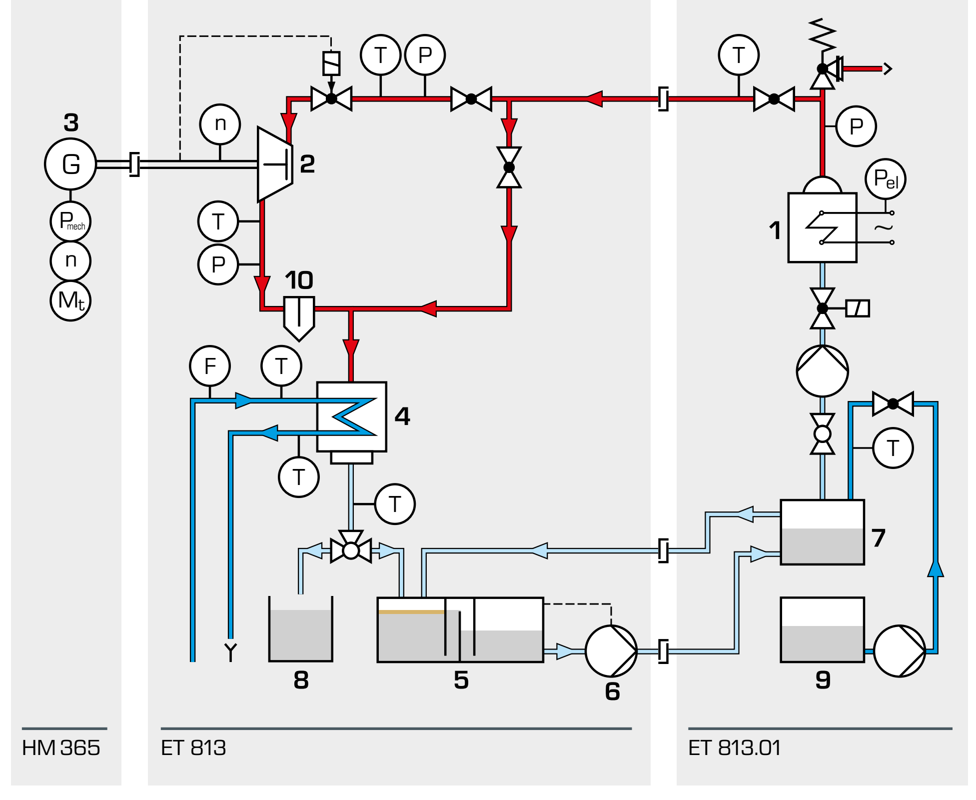
- élément des GUNT-FEMLine
- principe de fonctionnement d'une machine à vapeur à piston
- cycle d'une centrale thermique à vapeur
- mesure de la puissance
- établissement de bilans énergétiques
- détermination du rendement
- générateur de vapeur électrique: rapidement opérationnel, entièrement automatique, fiable, pas de gaz d'échappement, absence de combustibles
- exempt d'homologation et de surveillance (zone d'application de l'Union Européenne)



HM 365 Dispositif de freinage et d'entraînement universel

ET 813 Machine à vapeur à deux cylindres

ET 813.01 Générateur de vapeur électrique



Le générateur de vapeur électrique **1** produit de la vapeur qui va ensuite alimenter la turbine **2** en passant par des conduites. La turbine est chargée par le dispositif de freinage **3**. La vapeur d'échappement de la machine à vapeur pénètre ensuite dans le condenseur **4** refroidi par eau. Le condensat est conduit dans le réservoir en cascade **5**, où l'huile de graissage transportée avec lui est séparée de la machine à vapeur. De là, la pompe **6** achemine le condensat dans le réservoir d'eau d'alimentation **7**, et le cycle est ainsi bouclé.

1 générateur de vapeur, **2** turbine, **3** dispositif de freinage, **4** condenseur, **5** réservoir en cascade, **6** pompe, **7** réservoir d'eau d'alimentation, **8** réservoir de mesure du condensat, **9** réservoir de mesure d'eau fraîche, **10** séparateur d'huile; vapeur, eau de refroidissement/eau fraîche, eau d'alimentation

La partie essentielle est une machine à vapeur à deux cylindres à effet simple avec le mécanisme à bielle et manivelle fermé. En raison de la structure fermée, ce type de machine à vapeur est appelé moteur à vapeur.

Un robinet à piston, installé dans le couvercle de cylindre, commande l'arrivée et l'évacuation de vapeur. Le vilebrequin fait bouger le robinet à piston via un petit mécanisme à bielle et une équerre de renvoi.

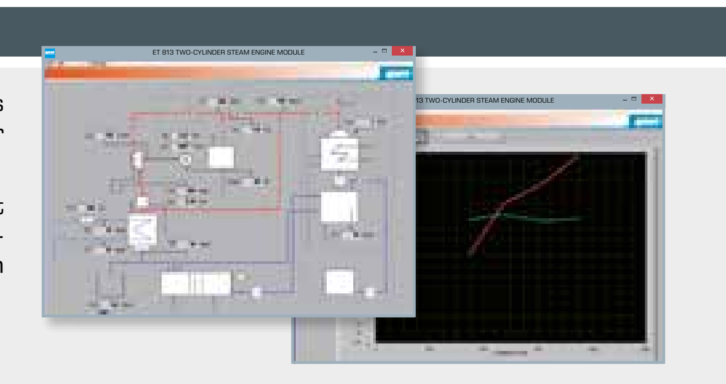
Coupe de la machine à vapeur

1 volant d'inertie, **2** vilebrequin, **3** bielle, **4** manivelle de commande pour robinet à piston, **5** piston avec segments de piston, **6** levier de renvoi, **7** robinet à piston, **8** couvercle de cylindre

Logiciel pour l'acquisition de données

Le logiciel permet une représentation claire des valeurs mesurées sur un ordinateur. Il est possible d'enregistrer et de sauvegarder des évolutions de temps.

À l'aide d'un calcul par tableurs (p.ex., MS Excel), il est possible de procéder à une évaluation de données sauvegardées. La transmission des données de mesure sur un ordinateur se fait par une interface USB.



ET 813
Machine à vapeur à deux cylindres



L'illustration montre un appareil similaire.

Contenu didactique/essais

- avec le HM 365 et l'ET 813.01
  - détermination de la quantité de vapeur générée, de la puissance mécanique et de la consommation d'énergie
  - calcul du rendement global
  - détermination de la chaleur éliminée dans le condenseur
  - enregistrement de la courbe de pression de la vapeur
  - puissance effective
  - consommation de vapeur spécifique de la machine à vapeur
  - puissance thermique de la chaudière

Description

- **fonctionnement d'une machine à vapeur à piston à deux cylindres**
- **bilan énergétique d'une centrale thermique à vapeur**
- **construction d'une centrale thermique à vapeur complète avec le générateur de vapeur ET 813.01 et le dispositif de freinage et d'entraînement HM 365**
- **élément de la série GUNT-FEM-Line**

Dans une centrale thermique à vapeur, l'énergie thermique est convertie en énergie mécanique et, pour finir, en énergie électrique. Une centrale thermique à vapeur est constituée d'une source de chaleur pour la production de vapeur, d'une turbine ou machine à vapeur avec générateur, et d'un dispositif de refroidissement pour la condensation de la vapeur. La machine à vapeur sert à transformer l'énergie thermique en énergie mécanique.

La machine à vapeur ET 813 forme, en combinaison avec le dispositif de freinage HM 365 comme consommateur d'énergie électrique et le générateur de vapeur ET 813.01 adapté à l'ET 813, une centrale thermique à vapeur complète.

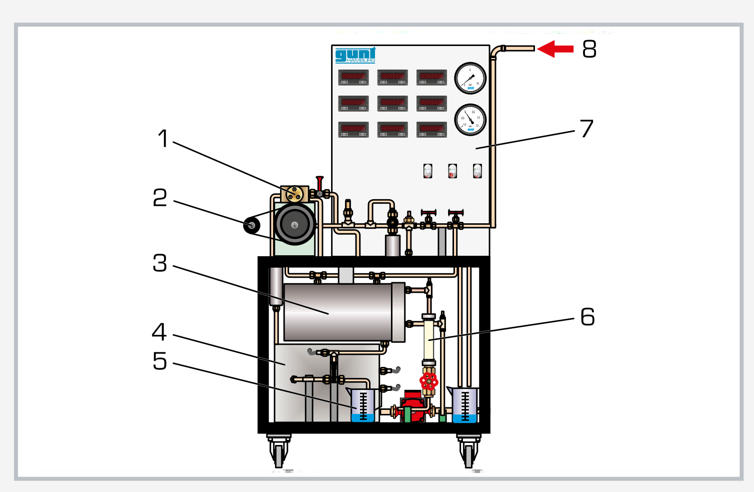
Le banc d'essai comprend une machine à vapeur, un condenseur et un réservoir de condensation, ainsi que de nombreux instruments.

La machine à vapeur est une machine à deux cylindres hermétique à angle de calage des manivelles de 180°. Elle est à simple effet avec pistons plongeurs. Elle permet de mettre en évidence le principe et les propriétés de fonctionnement d'une machine à vapeur à pistons.

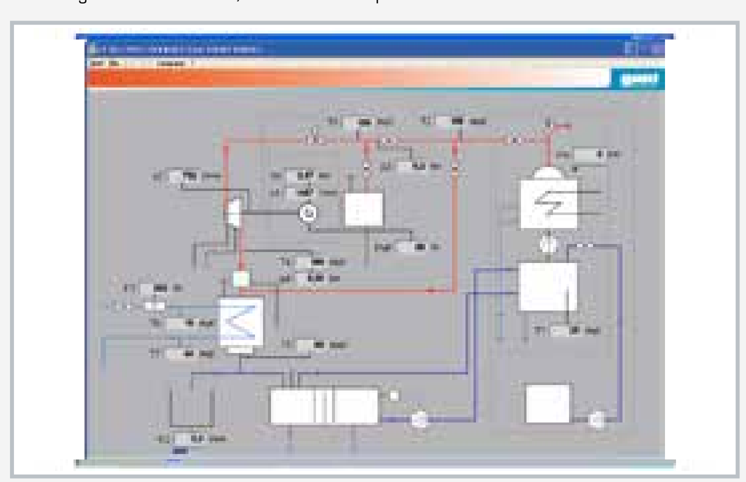
Comme dans une machine à vapeur à pistons, la vapeur d'échappement contient de l'huile lubrifiante, un séparateur d'huile et un réservoir à cascade assurent la purification requise du condensat afin que l'eau reconduite dans le réservoir d'alimentation du générateur de vapeur ET 813.01 soit propre.

Des capteurs mesurent la température, la pression, la vitesse de rotation et le débit à tous les points significatifs. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

ET 813
Machine à vapeur à deux cylindres



1 machine à vapeur, 2 courroie de transmission au HM 365, 3 condenseur, 4 réservoir de condensat, 5 récipient gradué, 6 capteur de débit d'eau de refroidissement, 7 éléments d'affichage et de commande, 8 conduite de vapeur fraîche de l'ET 813.01



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus



Montage expérimental prêt à fonctionner: à gauche: dispositif de freinage HM 365, au milieu: machine à vapeur deux cylindres ET 813, à droite: générateur de vapeur ET 813.01

Spécification

[1] machine à vapeur à pistons à deux cylindres
[2] condenseur atmosphérique
[3] réservoir de condensat à cascade avec pompe de condensat
[4] charge de la machine à vapeur par le dispositif de freinage HM 365
[5] capteurs et affichage pour la température, la pression, le débit et la vitesse de rotation
[6] détermination de la quantité de vapeur par le condensat
[7] alimentation en vapeur par le générateur de vapeur ET 813.01
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Machine à vapeur à pistons à deux cylindres
- vitesse de rotation: max. 1000min^{-1}
- puissance durable max.: 500W
- 2 cylindres
  - alésage: 50mm
  - course: 40mm

Pompe de condensat
- puissance absorbée: max. 60W
- débit de refoulement max.: 2,9m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 4m

Condenseur
- surface de transfert: 3800cm^2

Plages de mesure
- température: 7x 0...400°C
- pression: 0...10bar / 0...1,6bar
- vitesse de rotation: 0...1200min^{-1}
- débit: 100...1000L/h (eau de refroidissement)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 950x800x1750mm
Poids: env. 200kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, vapeur (8kg/h, 7bar)
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
3 gobelets gradués
1 chronomètre
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

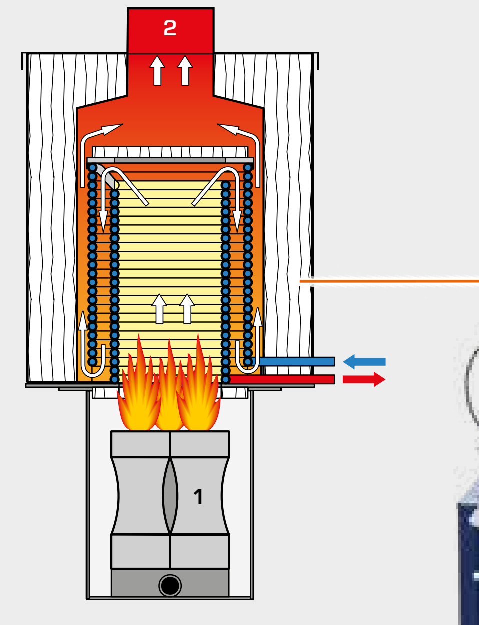


ET 850 + ET 851
Centrale thermique à vapeur à l’échelle de laboratoire

Avec l’association composée du générateur de vapeur ET 850 et de la turbine à vapeur axiale ET 851, GUNT propose un montage de centrale thermique à vapeur réelle à l’échelle du laboratoire.

Cette installation possède tous les composants importants d’une installation industrielle réelle: chaudière à tubes d’eau recyclée avec surchauffeur, condenseur avec pompe à jet d’eau pour fonctionnement sous vide, réservoir d’eau d’alimentation, pompes à condensat et à eau d’alimentation, turbine à vapeur avec frein dynamométrique, dispositif d’étanchéité d’arbre à labyrinthe et vapeur de barrage.

- la conception sous forme de chaudière aquatubaire en continu garantit une sécurité maximale
- une génération rapide de vapeur grâce à un faible contenu d’eau
- un surchauffeur électrique permet de procéder à une surchauffe de la vapeur qui est librement ajustable
- une combustion propre et sans odeur grâce à un chauffage au propane
- un condenseur à refroidissement par eau avec évacuation via une pompe à jet d’eau permet également de procéder à un fonctionnement sans turbine à vapeur axiale ET 851



Vue en coupe du générateur de vapeur ET 850

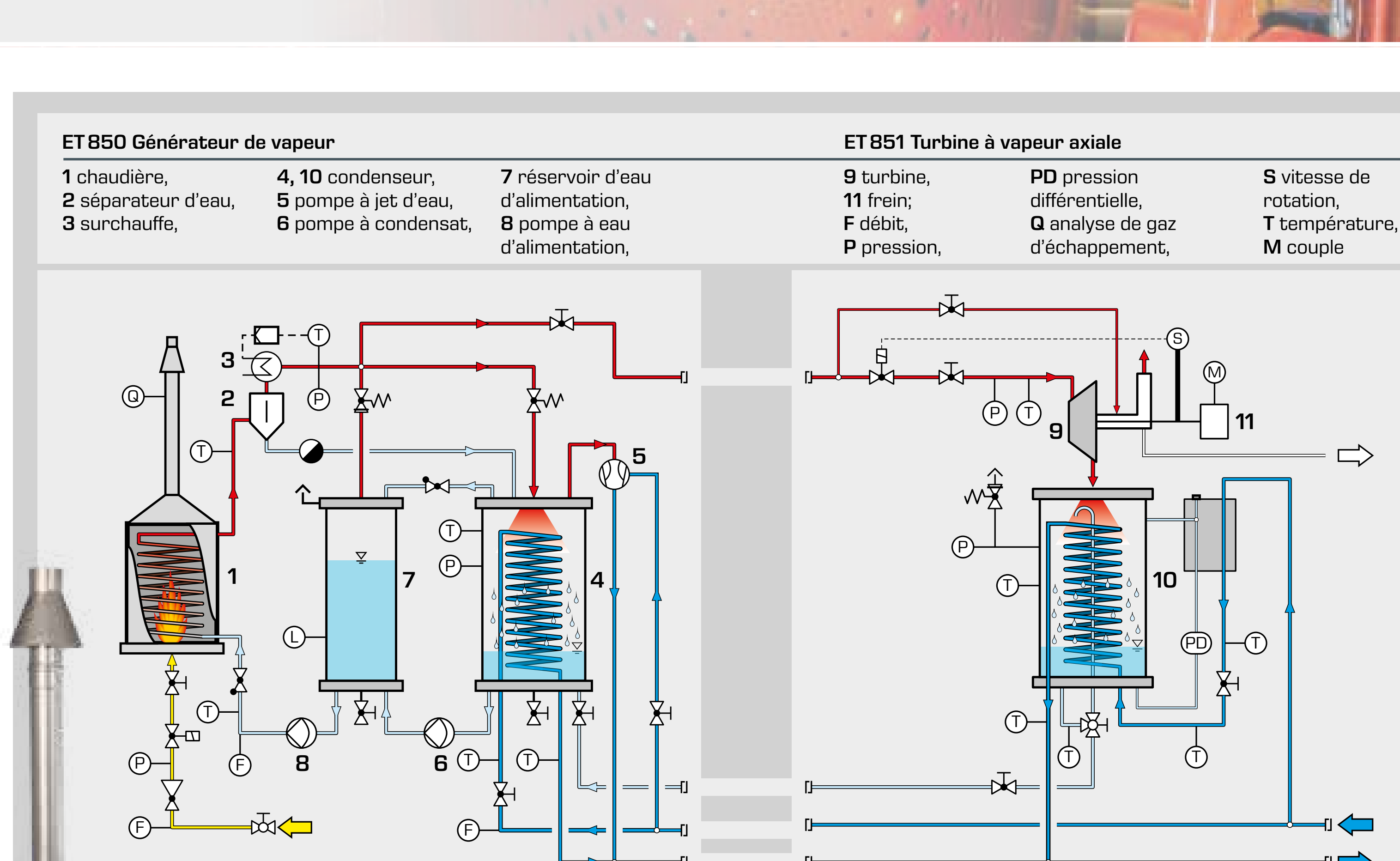
1 brûleur, **2** gaz d’échappement, ⬆ direction d’écoulement de l’air chauffé le long de l’échangeur de chaleur

ET 850 Générateur de vapeur

1 chaudière, **2** séparateur d’eau, **3** surchauffe, **4, 10** condenseur, **5** pompe à jet d’eau, **6** pompe à condensat, **7** réservoir d’eau d’alimentation, **8** pompe à eau d’alimentation,

ET 851 Turbine à vapeur axiale

9 turbine, **11** frein; **F** débit, **P** pression, **PD** pression différentielle, **Q** analyse de gaz d’échappement, **S** vitesse de rotation, **T** température, **M** couple

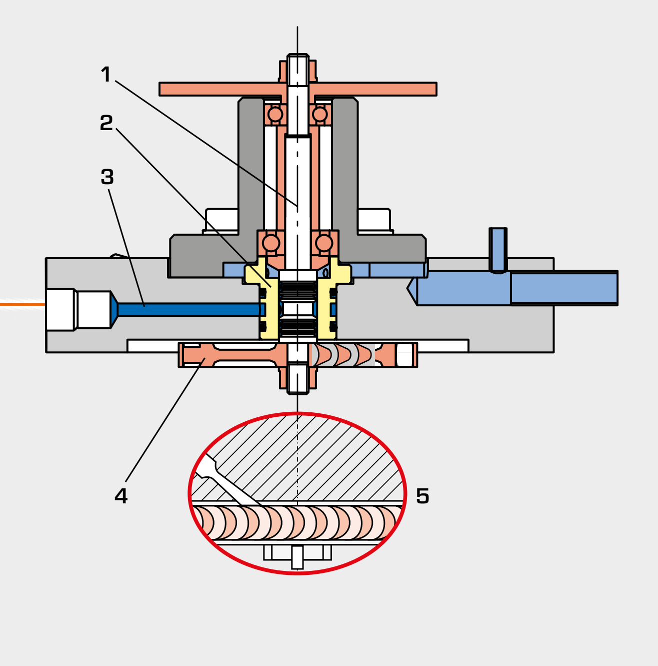


ET 850 Générateur de vapeur

ET 851 Turbine à vapeur axiale

Le comportement en service est très similaire à celui d’une installation réelle. Cela permet de démontrer et de s’exercer à l’ajustage minutieux des actions coordonnées du générateur de vapeur, de la turbine, du condenseur et du surchauffeur. L’acquisition de données permet de les exploiter directement et de manière précise, afin d’obtenir rapidement une vue d’ensemble.

- turbine axiale à un étage
- arbre disposé de manière verticale et placé sur un palier à roulement
- une étanchéité sans contact du labyrinthe avec la vapeur de barrage permet le fonctionnement à vide
- condenseur transparent, refroidi par eau
- freins à courants parasites exempts d’usure avec des aimants permanents
- arrêt de sécurité en cas de survitesse au moyen d’une soupape à fermeture rapide
- mesure de la quantité de vapeur via le niveau de condensat



1 arbre, **2** entrée de labyrinthe, **3** entrée de vapeur, **4** rotor, **5** vue en coupe de la buse et les aubes mobiles



ET 850
Générateur de vapeur



Contenu didactique/essais

- découverte et étude des caractéristiques spécifiques d'une chaudière
- rendement d'un générateur de vapeur
- analyse des gaz d'échappement
- effet de différents ajustages du brûleur
- température et pression de saturation de la vapeur
- enthalpie de la vapeur
- détermination de la densité de flux de chaleur et du coefficient de transfert de chaleur

Description

- **générateur de vapeur à l'échelle du laboratoire pour vapeur humide ou surchauffée**
- **valeurs caractéristiques d'une chaudière**
- **dispositifs de sécurité et de surveillance divers**
- **construction d'une centrale thermique à vapeur complète en association avec la turbine à vapeur ET 851**

De la vapeur d'eau se forme dans un générateur de vapeur, qui sera utilisée par la suite pour alimenter des turbines à vapeur ou pour le chauffage. Générateur de vapeur et consommateur de vapeur forment ensemble ce que l'on appelle une centrale thermique à vapeur. Les centrales thermiques à vapeur fonctionnent selon le cycle de Clausius-Rankine, qui fait partie encore aujourd'hui des cycles industriels les plus courants. Des centrales thermiques à vapeur sont principalement utilisées pour la génération de courant.

Associé à la turbine à vapeur axiale ET 851, le générateur à vapeur ET 850 forme une centrale thermique à vapeur complète à l'échelle du laboratoire.

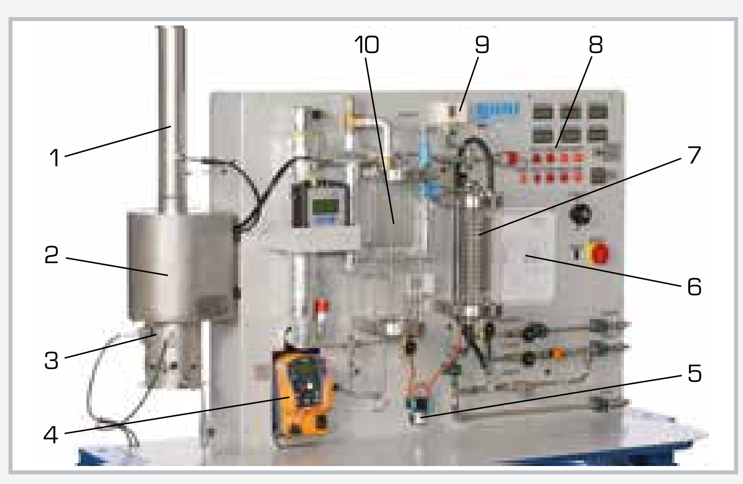
Avec le banc d'essai ET 850, les étudiants apprennent à connaître les composants et le principe de fonctionnement d'un générateur de vapeur, et peuvent étudier les valeurs caractéristiques de l'installation. Dans le cas où le générateur de vapeur fonctionne sans turbine à vapeur, la vapeur produite est condensée directement au moyen d'un condenseur, et retournée via une pompe de condensat et une pompe d'alimentation en eau dans le circuit d'évaporation.

Une pompe à jet d'eau évacue l'air du condenseur, et génère une pression négative. La chaudière à vapeur n'a besoin que d'une petite quantité d'eau et d'un court temps de chauffe.

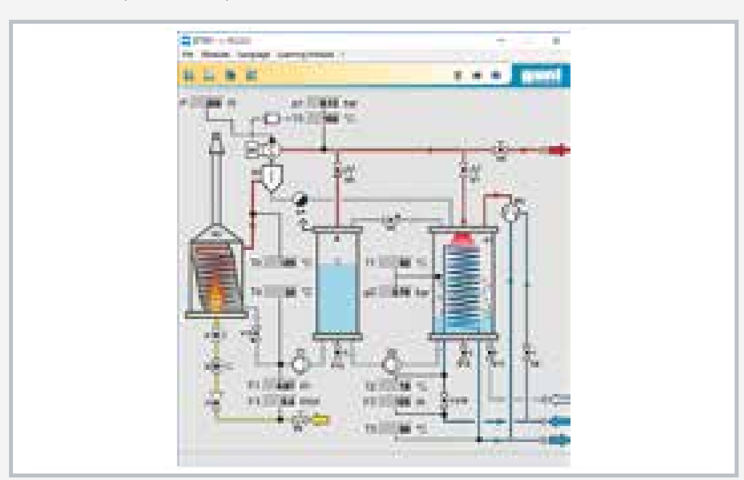
Étant donné que tous les composants sont agencés de manière claire sur le panneau avant, le cycle est facile à suivre et à comprendre. Des capteurs enregistrent la température, la pression et le débit à tous les points pertinents. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

Le générateur de vapeur est construit selon la directive sur les équipements sous pression; il a été testé sous pression, et est équipé de toutes les robinetteries de sécurité prescrites par la loi.

ET 850
Générateur de vapeur



1 évacuation de fumées, 2 générateur de vapeur, 3 brûleur, 4 pompe à eau d'alimentation, 5 pompe à condensat, 6 schéma de processus, 7 condenseur, 8 éléments d'affichage et de commande, 9 manostat, 10 réservoir d'alimentation en eau



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus



à gauche: le générateur de vapeur ET 850; à droite: la turbine axiale ET 851; en condition de fonctionnement, les deux appareils forment une centrale thermique à vapeur

Spécification

[1] générateur de vapeur avec dispositif de chauffage fonctionnant au gaz
[2] la turbine à vapeur ET 851 peut être raccordée pour faire fonctionner une centrale thermique à vapeur
[3] condenseur sous forme de cylindre en verre à parois épaisses avec serpentin refroidi à l'eau, et pompe à jet d'eau pour l'aspiration de l'air
[4] système fermé d'alimentation en eau
[5] capteurs de température, pression, débit
[6] les dispositifs de sécurité sont conformes aux réglementations de sécurité en vigueur pour un fonctionnement sécurisé
[7] étude des gaz d'échappement avec un appareil d'analyse des gaz de fumée
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Brûleur
- puissance de chauffe: 6kW

Générateur de vapeur
- chaudière
- pression de service: 8bar, pression max.: 10bar
- température max.: 250°C
- production de vapeur: 8kg/h
- puissance du surchauffeur: 750W

Plages de mesure
- température: 0...400°C
- pression:
  - 0...1,6bar abs. (condenseur)
  - 0...16bar (vapeur fraîche)
- débit:
  - 0...14L/min (gaz propane)
  - 0...720L/h (eau de refroidissement)
  - 0...15L/h (eau d'alimentation)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase, 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1830x790x1770mm (sans évacuation de fumées)
Poids: env. 280kg

Nécessaire pour le fonctionnement

alimentation en gaz (gaz propane): 700g/h, 50mbar
raccord d'eau: 720L/h, 2bar, drain
ventilation, évacuation des gaz d'échappement
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 appareil d'analyse des fumées
1 emballage de eau distillée (20L)
1 jeu d'outils

ET 851
Turbine à vapeur axiale



Description

- **turbine à vapeur axiale à un étage à l'échelle du laboratoire**
- **différents dispositifs de sécurité et de surveillance**
- **construction d'une centrale thermique à vapeur complète avec le générateur de vapeur ET 850**

Turbines à vapeur et turbomachines. Dans la pratique, les turbines à vapeur sont principalement utilisées dans les centrales électriques pour la production d'électricité. On distingue différents types de turbines selon le sens du débit et l'état de la vapeur, le mode de fonctionnement ainsi que l'alimentation et l'évacuation de la vapeur.

Sur l'appareil d'essai ET 851, il s'agit d'une turbine axiale à pression égale à un étage, avec un axe vertical. La vapeur nécessaire doit être générée avec le générateur de vapeur ET 850. La turbine peut fonctionner avec de la vapeur saturée ou avec de la vapeur surchauffée. La vapeur est décomprimée dans la turbine et liquéfiée au moyen du condenseur refroidi par eau. La turbine est chargée au moyen d'un frein à courants de Foucault. La turbine possède un joint à labyrinthe sans contact sur l'arbre avec circuit de vapeur de barrage. Afin d'éviter des dommages tels qu'une vitesse de rotation excessive ou une surpression dans le système, la turbine est équipée de différents dispositifs de sécurité.

Des capteurs mesurent la température, la pression et le débit à tous les points significatifs. La vitesse de rotation de la turbine et le couple de rotation sont mesurés électroniquement au niveau du frein à courants de Foucault. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

La turbine à vapeur axiale ET 851 constitue, avec le générateur de vapeur ET 850, une centrale thermique à vapeur complète à l'échelle du laboratoire.

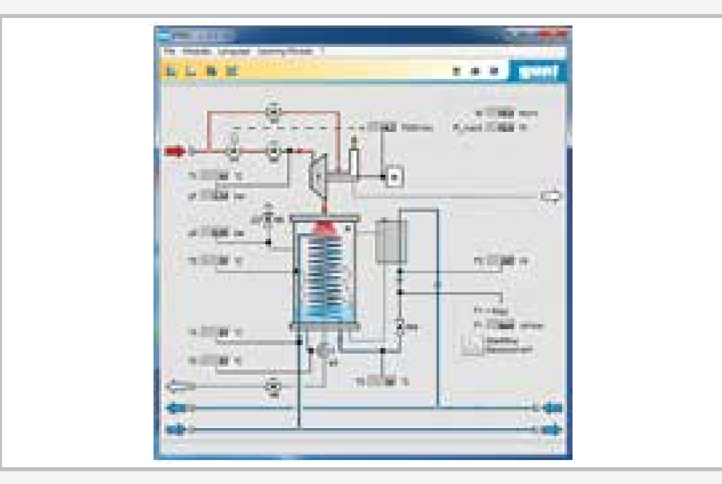
Contenu didactique/essais

- mode de fonctionnement d'une turbine à vapeur:
  - consommation de vapeur de la turbine
  - puissance de la turbine à différents réglages
  - étude des pertes au niveau des différents composants de la turbine
  - évolution de la puissance et du couple de rotation
  - rendement global comparé au rendement théorique

ET 851
Turbine à vapeur axiale



1 éléments d'affichage et de commande, 2 soupape pour la vapeur de barrage, 3 raccordement de vapeur, 4 soupape d'entrée de la vapeur, 5 schéma de processus, 6 raccords d'eau, 7 capteur de pression pour la mesure du condensat, 8 condenseur avec serpentin, 9 capteur de débit d'eau de refroidissement, 10 turbine, 11 frein à courants de Foucault, 12 capteur de pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus



À gauche, le générateur de vapeur ET 850 et à droite, la turbine à vapeur axiale ET 851; une fois montés et prêts à fonctionner, ils forment ensemble une centrale thermique à vapeur complète

Spécification

[1] turbine à action axiale à un étage, reposant sur des roulements à billes étanches et résistant à la corrosion
[2] charge de la turbine par un frein à courants de Foucault
[3] condenseur avec serpentin refroidi par eau
[4] alimentation en vapeur par générateur de vapeur ET 850
[5] différents dispositifs de sécurité pour un fonctionnement sécurisé
[6] capteur et écran numérique pour la vitesse de rotation, la température, la pression et le débit
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Turbine à action axiale à un niveau
- diamètre de la roue: 54mm
- vitesse de rotation max.: 40000min^{-1}
- pression d'entrée max.: 9bar abs.
- pression de sortie max.: 1bar abs.
- puissance nominale: 50W

Plages de mesure
- pression:
  - 0...16bar (vapeur)
  - 0...1,6bar (condenseur)
- pression différentielle: 0...50mbar
- débit: 0...720L/h (eau de refroidissement)
- vitesse de rotation: 0...50000min^{-1}
- couple: 0...70Nmm
- température: 0...400°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1530x790x1770mm
Poids: env. 180kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau: 350L/h, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 830
Centrale thermique à vapeur 1,5kW



Description

- **centrale thermique à vapeur complète à l'échelle du laboratoire**
- **circuit fermé vapeur-eau**
- **surveillance et commande de l'installation par API**

Dans les centrales thermiques à vapeur, l'énergie thermique est d'abord convertie en énergie mécanique et, pour finir en énergie électrique. Une centrale thermique à vapeur est essentiellement constituée d'une source de chaleur pour la production de la vapeur, d'une turbine avec charge et d'un dispositif de refroidissement pour la condensation de la vapeur.
L'ET 830 a été spécialement conçu pour la formation technique dans le domaine des centrales électriques respectivement des machines motrices et des machines réceptrices, et il permet d'effectuer de nombreux essais pour se familiariser avec les processus de fonctionnement d'une centrale thermique à vapeur.
Une chaudière au fuel génère de la vapeur humide qui est ensuite transformée en vapeur chaude par un surchauffeur. Le temps court de chauffe de la chaudière permet de produire rapidement de la vapeur. La turbine est chargée par un générateur. La puissance de la turbine est déterminée au moyen de la vitesse de rotation et du couple de rotation. Au-delà de la turbine, la vapeur est condensée et reconduite dans la chaudière. Le circuit d'eau d'alimentation est équipé d'une centrale complète de traitement de l'eau, constituée d'un échangeur d'ions régénérable ainsi que d'un dispositif de dosage des produits chimiques. Des capteurs mesurent la température, la pression, la vitesse de rotation et le débit à tous les points significatifs. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le tableau de commande comprend un schéma de processus clair de la centrale. La centrale est surveillée et commandée par un automate programmable industriel (API).

L'installation d'essai est conforme aux réglementations de sécurité en vigueur, et comporte les dispositifs de sécurité réglementaires. Le générateur de vapeur est homologué et non soumis à autorisation.

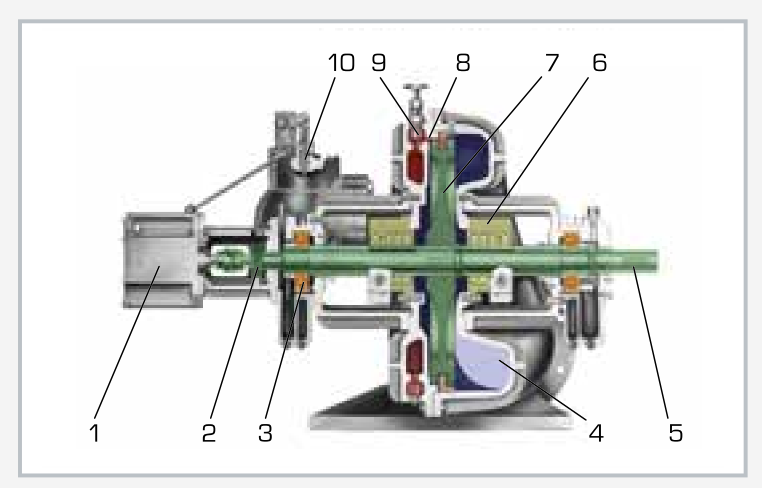
Pour l'alimentation en eau de refroidissement, on peut en option utiliser la centrale avec la tour de refroidissement ET 830.01 ou ET 830.02.

Contenu didactique/essais

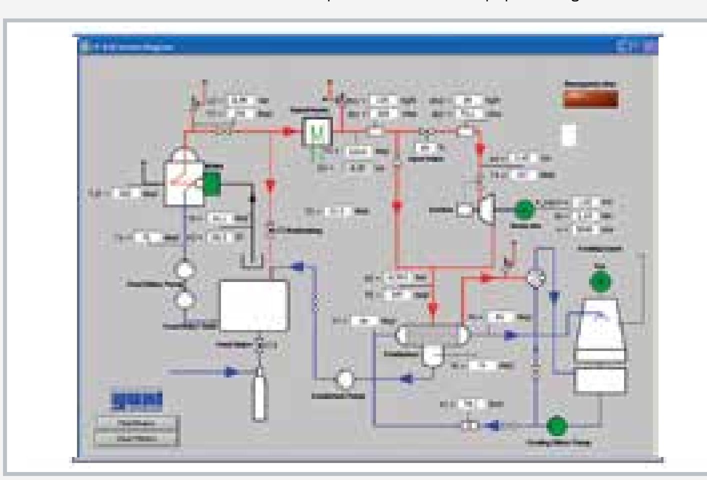
- centrale thermique à vapeur et ses composants
- mise en marche, fonctionnement et mise à l'arrêt d'une centrale thermique à vapeur
- circuit fermé vapeur-eau avec traitement de l'eau d'alimentation
- entre autres, détermination:
  - du rendement de la chaudière
  - du rendement mécanique/thermique de la turbine
  - du rendement du condenseur
  - de la consommation de combustible spécifique de la centrale

ET 830
Centrale thermique à vapeur 1,5kW

1 surchauffeur, 2 brûleur, 3 chaudière, 4 condenseur, 5 pompe de condensat, 6 turbine, 7 éléments d'affichage et de commande, 8 réservoir d'eau d'alimentation avec traitement de l'eau d'alimentation



Vue en coupe de la turbine à vapeur utilisée: 1 régulateur de vitesse de rotation, 2 soupape à fermeture rapide, 3 palier, 4 tubulure d'évacuation de vapeur, 5 arbre, 6 joint d'étanchéité de l'arbre, 7 roue Curtis, 8 buse, 9 clapet de buse, 10 soupape de régulation



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] centrale thermique à vapeur à l'échelle du laboratoire
[2] générateur de vapeur à fuel avec surchauffeur électrique
[3] turbine axiale à un étage avec roue Curtis, mode vide ou échappement
[4] générateur de courant continu pour la charge de la turbine
[5] condenseur refroidi par eau
[6] traitement de l'eau d'alimentation
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[8] surveillance et commande de la centrale par API intégré
[9] raccordement d'eau de refroidissement de $10m^3/h$ ou tour de refroidissement ET 830.01/ET 830.02 nécessaire

Caractéristiques techniques

Générateur de vapeur
- production de vapeur: 200kg/h à 11bar
- consommation max. de combustible: 12L/h
- temps de chauffe: 8min
- pression max.: 13bar

Surchauffeur
- puissance: 7kW

Turbine axiale à un étage avec roue Curtis et régulateur de vitesse de rotation hydraulique
- puissance: max. 1,5kW à $3000min^{-1}$

Condenseur refroidi par eau
- puissance frigorifique: 98kW
- surface de transfert: $2,5m^2$

Plages de mesure
- température: 9x 0...400°C, 2x 0...100°C
- débit: 0...167L/min (eau de refroidissement)
- pression: 3x 0...16bar, 1x ±1bar
- couple: 0...20Nm
- vitesse de rotation: $0...4000min^{-1}$

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases, 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 3500x2000x2450mm
Poids: env. 1950kg

Nécessaire pour le fonctionnement

eau de refroidissement $10m^3/h$, drain ou ET 830.01/ET 830.02
raccord d'air comprimé: 4,5bar, 150L/h
ventilation, évacuation des gaz d'échappement
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 installation d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique avec manuel d'utilisation détaillé

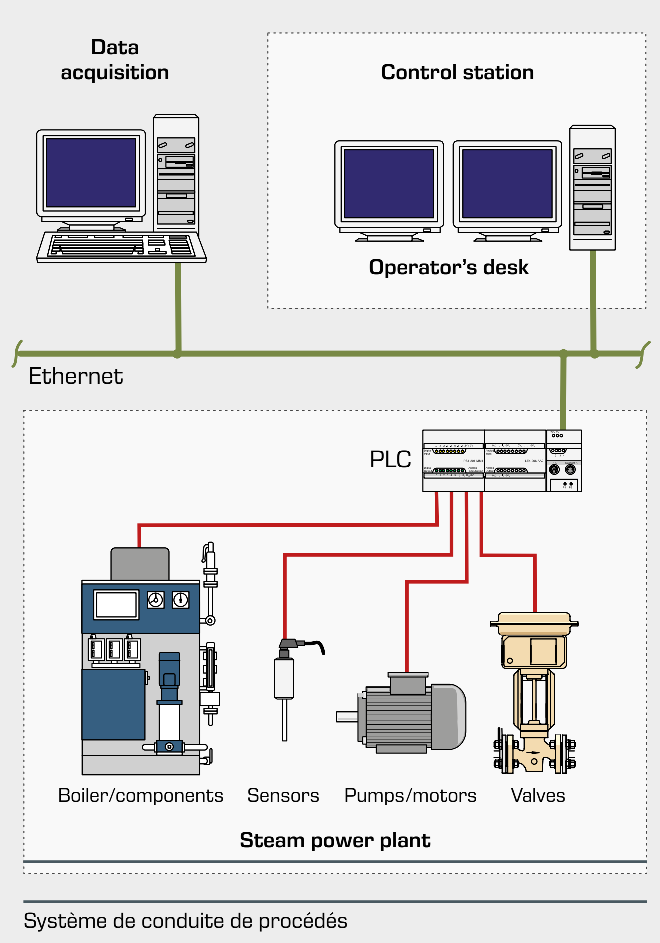
ET 833 Centrale thermique à vapeur 1,5 kW avec système de conduite de procédés

Centrale thermique à vapeur complète, entièrement opérationnelle sur la base de l'ET 830

Générateur de vapeur rapide, chauffé au mazout, puissance de la vapeur 200 kg/h	Poste de contrôle avec l'intégralité des instruments affichés sur des écrans LCD modernes
Surchauffeur chauffé électriquement	Commande par écran tactile
Turbine à vapeur industrielle à un étage, puissance 1,5 kW à 3000 min^{-1}	Des commandes d'installations numériques modernes, PCS se basant sur un bus de terrain et API
Condenseur refroidi par eau avec pompe de condensat et pompe à vide	Acquisition intégrée de données et détermination des paramètres de performance
Traitement de l'eau d'alimentation avec adoucissement de l'eau	Surveillance de sécurité et arrêt d'urgence par API avec gestion des alarmes et des avertissements
Tour de refroidissement par voie humide distincte, équipée d'une pompe d'eau de refroidissement performante	Mode d'emploi très complet et documentation didactique
L'installation peut être commandée par des vannes de commande	

L'ET 833 propose également un choix diversifié de contenus didactiques

- assemblage et fonctionnement d'une centrale thermique à vapeur, celle-ci se composant d'un traitement de l'eau d'alimentation, d'un générateur de vapeur, d'un surchauffeur, d'une turbine à vapeur, d'un condenseur et d'une tour de refroidissement
- démarrage, exploitation et mise à l'arrêt d'une centrale thermique à vapeur
- détermination des paramètres de service optimaux
- détermination des puissances d'entrée et de sortie
- détermination du rendement des éléments et des installations
- familiarisation avec une commande d'installation moderne par API
- familiarisation avec les boucles de régulation de pression de niveau, de débit et de température
- opérations de surveillance, d'entretien et de maintenance



Système de conduite de procédés



1 générateur de vapeur, **2** pompe d'eau d'alimentation, **3** condensateur, **4** turbine à vapeur, **5** réservoir d'eau d'alimentation, **6** générateur, **7** poste de contrôle, **8** tour de refroidissement, **9** pompe d'eau de refroidissement

ET 833

Centrale thermique à vapeur 1,5kW avec système de conduite de procédés



L'illustration montre la centrale thermique à vapeur avec la tour de refroidissement ET 833.01.

Description

- **centrale thermique à vapeur complète à l'échelle du laboratoire**
- **système de conduite de procédés basé sur Ethernet et API**
- **surveillance et commande de la centrale au moyen d'un poste de commande avec écran tactile**

Les grandes installations de procédés, comme les centrales thermiques à vapeur, sont de nos jours commandées par des systèmes de conduite de procédés (SCP). Le système de conduite de procédés surveille toute la centrale, régule et commande les différents acteurs, et enregistre et affiche les valeurs de mesure.

La centrale thermique à vapeur ET 833 est spécialement conçue pour la formation et les travaux pratiques dans le domaine des centrales électriques avec systèmes de conduite de procédés. Le haut niveau de complexité assure une grande similitude avec les centrales électriques réelles.

Une chaudière à fuel et un surchauffeur électrique en aval produisent de la vapeur chaude pour la turbine industrielle à un niveau, chargée par un générateur de courant continu. L'énergie produite réalimente le réseau. La vapeur qui s'évacue de la turbine est condensée et reconduite dans la chaudière. Le circuit d'eau d'alimentation est équipé d'une centrale de traitement de l'eau complète avec échangeur d'ions et dosage des produits chimiques. Les capteurs détectent tous les paramètres pertinents. Les valeurs de mesure sont transmises au système de conduite de procédés avec automate programmable industriel, ainsi qu'à un PC pour l'acquisition de données où elles sont représentées et évaluées à l'aide du logiciel GUNT. Le fonctionnement de la centrale est entièrement surveillé et commandé par le système de conduite de procédés. En cas de besoin, le système de conduite de procédés envoie une régulation aux acteurs concernés. La commande se fait au moyen d'écrans tactiles modernes sur le poste de commande. Un système de sécurité assure, en cas d'état de fonctionnement critique, la désactivation des composants concernés et l'enregistrement des états de défaut.

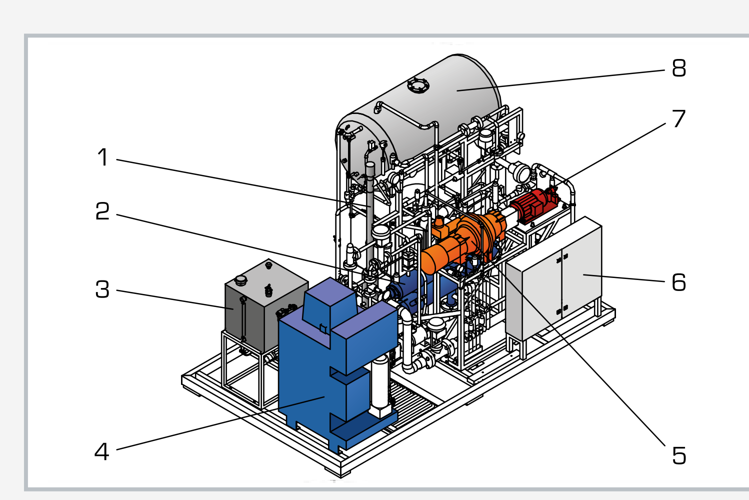
L'installation d'essai est conforme aux réglementations de sécurité en vigueur, et comporte les dispositifs de sécurité réglementaires. Le générateur de vapeur est homologué et non soumis à autorisation. Pour l'alimentation en eau de refroidissement, on peut en option utiliser la centrale avec la tour de refroidissement ET 833.01 ou ET 833.02.

Contenu didactique/essais

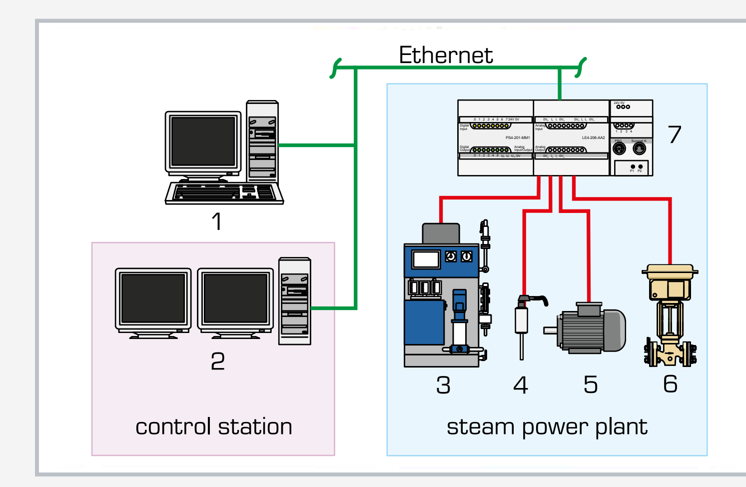
- installation motrice à vapeur et ses composants avec système de commande et de régulation
- mise en marche, fonctionnement et mise à l'arrêt d'une centrale thermique à vapeur
- familiarisation avec la commande et la surveillance de centrale au moyen d'un système de conduite de procédés
- opérations de surveillance, d'entretien et de maintenance
- entre autres, détermination de: conduites d'entrée et de sortie, rendements des composants et de l'installation, consommation spécifique de combustible de la centrale

ET 833

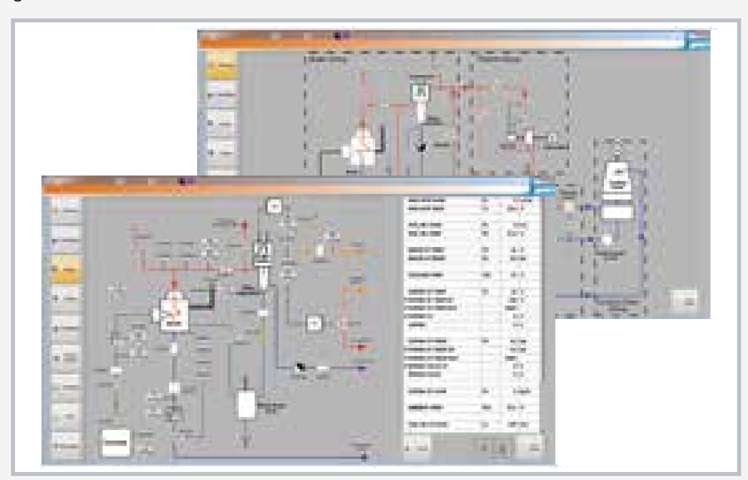
Centrale thermique à vapeur 1,5kW avec système de conduite de procédés



1 surchauffeur, 2 condenseur, 3 réservoir de combustible, 4 chaudière avec armoire de commande, 5 turbine, 6 armoire de commande, 7 générateur, 8 réservoir d'eau d'alimentation avec traitement de l'eau d'alimentation



Système de conduite de procédés: 1 acquisition de données PC, 2 régulation / commande PC, 3 générateur de vapeur, 4 capteurs, 5 pompes/moteurs, 6 soupapes, 7 automate programmable industriel API



Capture d'écran du logiciel: système de conduite de procédés SCP commandé par écran tactile

Spécification

[1] centrale thermique à vapeur à l'échelle du laboratoire
[2] chaudière à fuel avec surchauffeur électrique
[3] turbine à vapeur industrielle à 1 niveau avec générateur de courant continu comme charge de la turbine
[4] condenseur refroidi par eau
[5] traitement de l'eau d'alimentation
[6] système de conduite de procédés pour la surveillance, la commande et la régulation de la centrale
[7] poste de commande avec instruments au complet sur des écrans LCD modernes, commande par écran tactile
[8] équipement de l'installation en capteurs et actionneurs pour la surveillance et la commande de la centrale par API intégré et Ethernet
[9] raccordement d'eau de refroidissement de $10m^3$/h ou tour de refroidissement ET 833.01/ET 833.02 nécessaire

Caractéristiques techniques

Générateur de vapeur
- production de vapeur: 200kg/h à 11bar
- consommation max. de combustible: 12L/h
- temps de chauffe: 8min
- pression max.: 13bar

Surchauffeur
- puissance 7kW

Turbine axiale à un étage avec roue Curtis et régulateur de vitesse de rotation hydraulique
- puissance: max. 1,5kW à 3000min^{-1}

Condenseur refroidi par eau
- puissance frigorifique: 98kW
- surface de transfert: 2,5m^2

Plages de mesure
- température: 12x -50...400°C, 1x 0...100°C
- débit: 0...167L/min (eau de refroidissement)
- pression: 3x 0...16bar, 2x 0...4bar, 1x -1...1bar
- couple: 0...10Nm
- vitesse de rotation: 0...4000min^{-1}

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 3500x2000x2400mm
Poids: env. 2250kg

Nécessaire pour le fonctionnement

eau de refroidissement $10m^3$/h ou ET 833.01/ET 833.02
raccord d'air comprimé: 4,5bar, 150L/h

Liste de livraison

1 installation d'essai
1 poste de commande, hardware et logiciel inclus
1 jeu d'outils
1 documentation didactique

ET 805

Centrale thermique à vapeur 20kW avec système de conduite de procédés



L'illustration montre le groupe de turbine à vapeur de l'ET 805.

Description

- **centrale thermique à vapeur complète avec système de conduite de procédés basé sur Ethernet et API**
- **surveillance et commande de la centrale au moyen d'un poste de contrôle avec écran tactile**

Les grandes installations de procédés, comme les centrales thermiques à vapeur, sont de nos jours commandées par des systèmes de conduite de procédés. La centrale thermique à vapeur ET 805 est spécialement conçue pour la formation et les travaux pratiques dans le domaine des centrales électriques avec systèmes de conduite de procédés. Du fait de sa taille et de sa complexité, le comportement en service de cette centrale correspond par de nombreux aspects à celui des vraies centrales, et permet une formation proche de la pratique. La centrale est composée de quatre modules distincts, et s'adapte ainsi de manière flexible à l'espace disponible dans le laboratoire:

Module A Groupe de générateur de vapeur: une chaudière au gaz / à fuel et un surchauffeur électrique en aval produisent de la vapeur chaude. Le circuit d'eau d'alimentation est équipé d'une centrale de traitement de l'eau avec échangeur d'ions et dosage des produits chimiques.

Module B Groupe de turbine à vapeur: la vapeur chaude est conduite à une turbine industrielle à un étage avec régulation de la vitesse de rotation. Celle-ci entraîne un générateur synchrone qui peut fonctionner, au choix, en parallèle ou en îlotage. La vapeur qui s'échappe de la turbine est condensée et reconduite dans le circuit d'eau d'alimentation.

Module C Tour de refroidissement par voie humide: avec tirage forcé pour l'utilisation en plein air.

Module D Poste de commande: des capteurs enregistrent tous les paramètres pertinents de la centrale. Les valeurs de mesure sont transmises au système de conduite de procédés avec automate programmable industriel, ainsi qu'à un PC pour l'acquisition de données où elles sont représentées et évaluées à l'aide du logiciel GUNT.

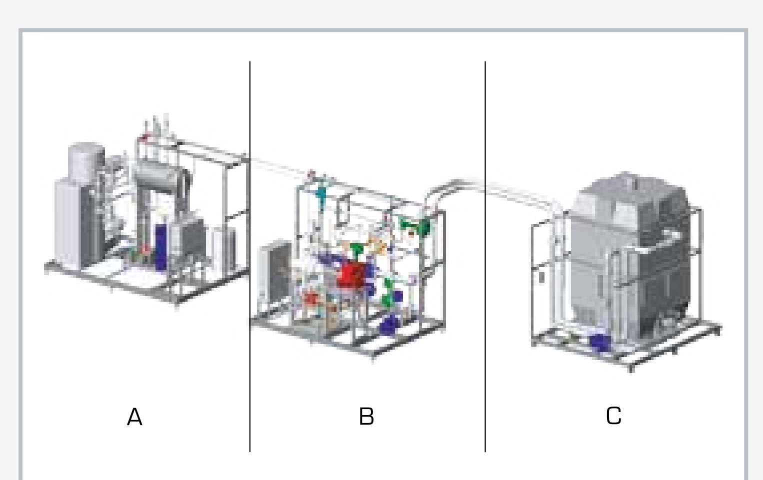
Le fonctionnement de la centrale est entièrement surveillé et commandé par le système de conduite de procédés. La commande se fait au moyen d'écrans tactiles modernes sur le poste de commande. Un système de sécurité assure, en cas d'état de fonctionnement critique, la désactivation des composants concernés et l'enregistrement des états de défaut.

Contenu didactique/essais

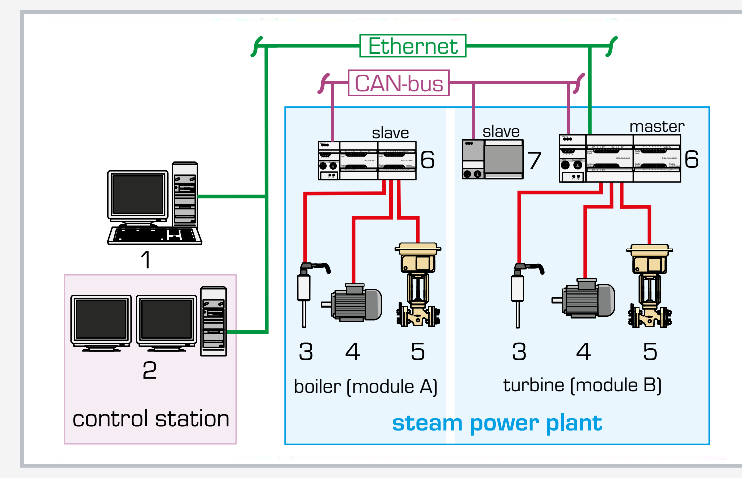
- structure et fonctionnement d'une centrale thermique à vapeur complète avec système de commande et de régulation
- mise en marche, fonctionnement, mise à l'arrêt, entretien et maintenance d'une centrale thermique à vapeur
- commande et surveillance de la centrale au moyen d'un système de conduite de procédés
- enregistrement et évaluation des principaux paramètres de fonctionnement
- entre autres, détermination de: conduites d'entrée et de sortie, rendements des composants et de la centrale, consommation spécifique de combustible

ET 805

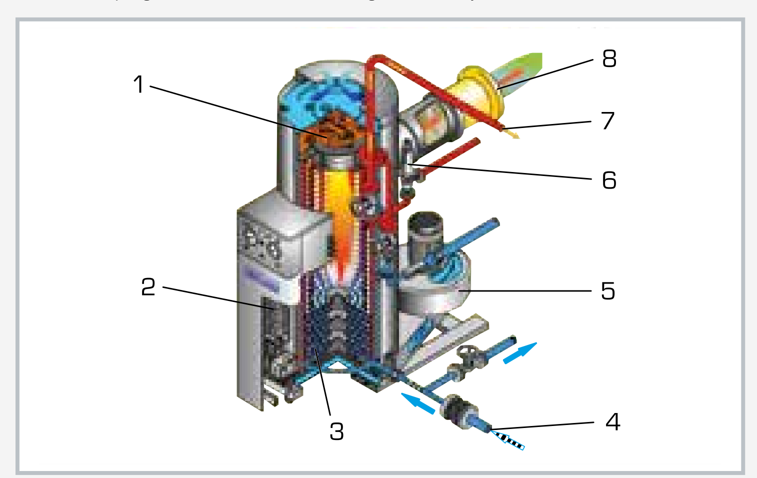
Centrale thermique à vapeur 20kW avec système de conduite de procédés



Modules de centrale thermique à vapeur sans poste de commande: Module A générateur de vapeur avec surchauffeur et traitement de l'eau d'alimentation, Module B turbine à vapeur avec générateur et condenseur, module C tour de refroidissement par voie humide



Système de conduite de procédés et module D poste de commande: 1 PC pour l'acquisition de données, 2 régulation/commande PC, 3 capteurs, 4 pompes/moteurs, 5 soupapes, 6 automate programmable industriel API, 7 générateur synchrone PPU



Vue en coupe de la chaudière: 1 brûleur à fuel/gaz, 2 commande électrique, 3 serpentin d'évaporation, 4 entrée de l'alimentation en eau, 5 ventilateur d'air de combustion, 6 soupape de sécurité, 7 prélèvement de vapeur, 8 tubulure de gaz d'échappement

Spécification

[1] centrale thermique à vapeur à l'échelle du laboratoire
[2] chaudière à gaz/fuel avec surchauffeur électrique
[3] turbine à vapeur industrielle à 1 niveau avec roue 2C
[4] régulation électronique de la vitesse de rotation avec soupape de régulation électropneumatique
[5] générateur synchrone avec dispositif de synchronisation PPU pour fonctionnement en parallèle ou en îlotage
[6] condenseur refroidi par eau avec circuit d'eau de refroidissement et tour de refroidissement par voie humide
[7] traitement de l'eau d'alimentation avec échangeur d'ions et pompe de dosage des produits chimiques
[8] commande numérique moderne de la centrale par un système de conduite de procédés
[9] poste de commande avec instruments au complet sur des écrans LCD modernes, commande par écran tactile

Caractéristiques techniques

Chaudière
- production de vapeur max.: 600kg/h à 13bar
- puissance thermique max.: 393kW
- consommation max. de combustible: 36,8kg/h

Surchauffeur, puissance: 32kW, 250°C
Turbine à action à 1 niveau avec roue 2C et régulation électronique de la vitesse de rotation
- puissance fournie max.: 20kW à 3600min^{-1}

Générateur synchrone
- puissance max.: 17kVa pour 400V, 60Hz

Condenseur refroidi par eau
- puissance frigorifique: 389kW
- surface de transfert: 5,5m^2

Tour de refroidissement
- puissance frigorifique max.: 540kW

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
Lxlxh: 3100x2000x2500mm (générateur de vapeur)
Lxlxh: 2400x2000x2500mm (turbine à vapeur)
Lxlxh: 2000x2000x2800mm (tour de refroidissement)
Poids total: env. 4500kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau: 1,5m^3/h
ventilation, évacuation des gaz d'échappement

Liste de livraison

1 groupe de générateur de vapeur
1 groupe de turbine à vapeur
1 tour de refroidissement
1 poste de commande, avec hardware et logiciel
1 jeu d'outils
1 documentation didactique

Connaissances de base

Turbines à gaz

Principe thermodynamique

Une turbine à gaz opère selon un cycle ouvert. Caractéristiques d'un circuit ouvert: les substances actives sont empruntées à l'environnement et lui sont de nouveau rendues. Le cycle d'une turbine à gaz peut être décrit par les changements d'état idéalisés suivants:

- **compression adiabatique** du gaz froid avec un compresseur **(A)** de la pression ambiante **p_1** à **p_2**, ce faisant, augmentation de la température **T_1** à **T_2**.
- **chauffage isobarique** de gaz de **T_2** à **T_3** par l'apport de chaleur. L'apport de chaleur s'effectue par la combustion de combustibles avec l'oxygène contenu dans la chambre de combustion **(B)**.
- **expansion adiabatique** de gaz chaud dans une turbine **(C)** de pression **p_2** à **p_1**, ce faisant, diminution de la température de **T_3** à **T_4**.

Une partie de la puissance mécanique retirée par la turbine sert à faire fonctionner le compresseur. Le reste est à disposition en tant que puissance utile, p.ex. pour entraîner un générateur **(D)**.

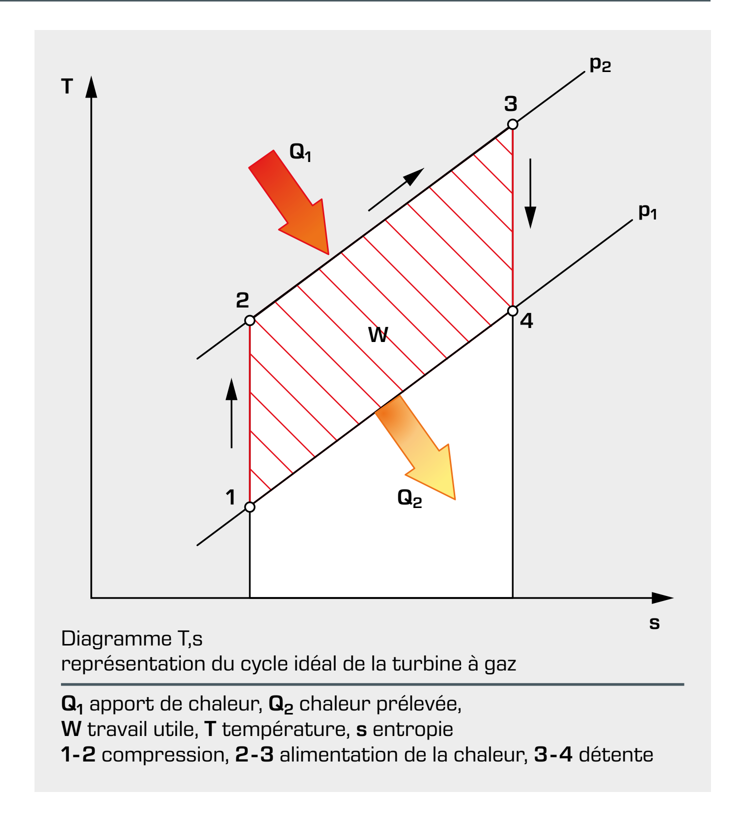


Diagramme T,s
représentation du cycle idéal de la turbine à gaz

Q_1 apport de chaleur, **Q_2** chaleur prélevée,
W travail utile, **T** température, **s** entropie
1-2 compression, **2-3** alimentation de la chaleur, **3-4** détente

Domaines d'application

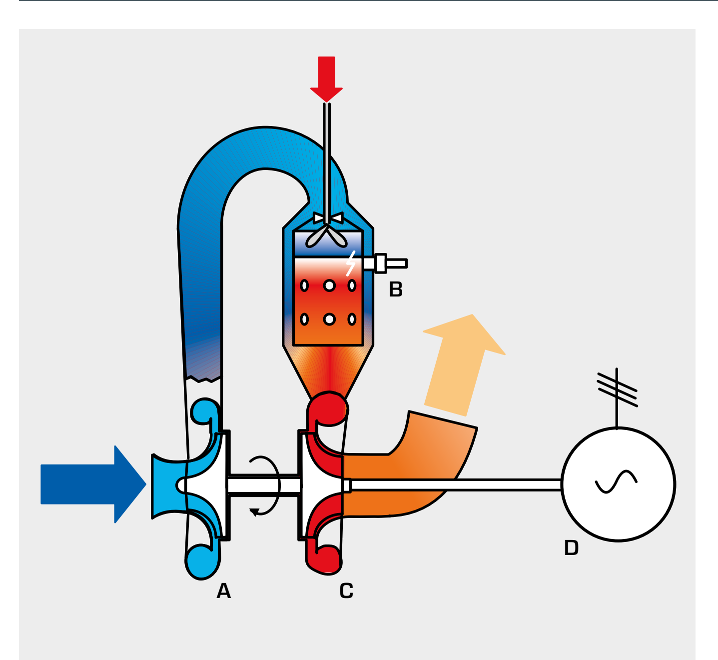


Schéma d'une installation de turbine à gaz simple

A compresseur, **B** chambre de combustion,
C turbine, **D** générateur;
flèches: **bleu** air, **rouge** combustible,
orange gaz d'échappement

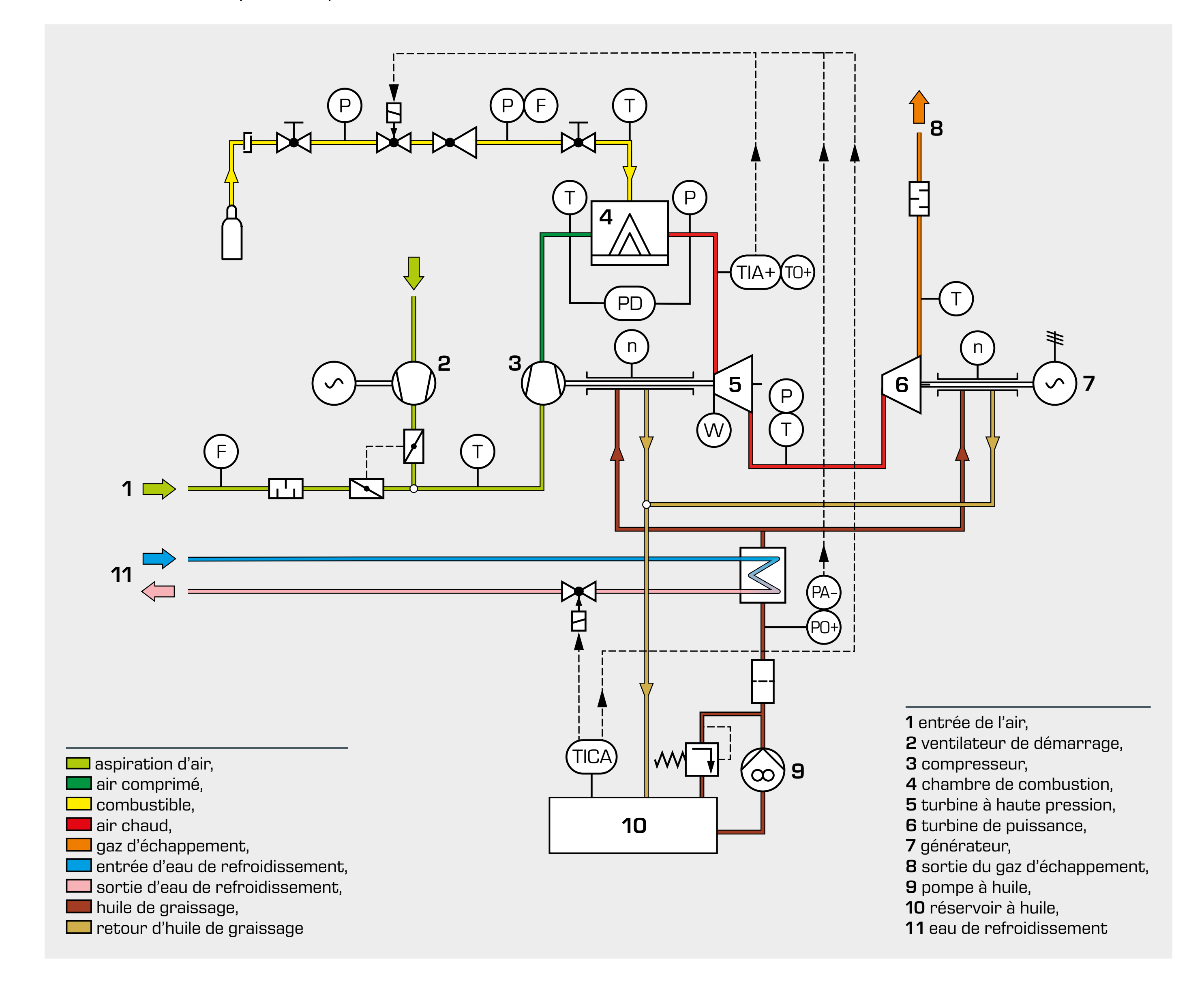
On utilise des turbines à gaz lorsque l'on exige une puissance importante et un poids réduit:

- entraînement d'avions avec des hélices et des avions à réaction
- entraînement de bateaux rapides, de locomotives et de véhicules lourds
- entraînement pour des générateurs de courant électrique dans des centrales électriques
- entraînement de compresseurs et de pompes, dans le cadre de l'exploitation de pétrole et de gaz naturel

Un autre avantage consiste en un état de service très rapide. Des turbines à gaz sont opérationnelles à pleine charge dans un délai très court, et c'est la raison pour laquelle elles sont souvent utilisées comme entraînements de réserve et en cas d'activité de pointe. L'inconvénient réside dans une consommation supérieure de carburant, comparée à celle d'un moteur diesel.

Principe d'une turbine à gaz à double arbre

Une turbine à gaz à double arbre possède deux turbines indépendantes. La première turbine (turbine à haute pression) est fermement raccordée au compresseur et l'entraîne. La seconde turbine (turbine de puissance) est mécanique et n'est pas reliée à la turbine à haute pression; elle produit la puissance utile de l'installation. Elle entraîne soit le véhicule, soit l'hélice ou bien encore un générateur. L'avantage de la turbine à gaz à double arbre consiste en ce que le compresseur et la turbine à haute pression sont utilisés avec une vitesse de rotation idéale pour la puissance. En revanche, la turbine de puissance peut s'adapter de manière optimale à la mission d'entraînement, en termes de vitesse de rotation ou de couple. Alors que les véhicules exigent une vitesse de rotation fortement variable, un alternateur synchrone doit être entraîné avec une vitesse de rotation qui, dans la mesure du possible, est constante.



Le schéma de processus de la turbine à gaz à double arbre ET 794 avec turbine de puissance et générateur

La turbine est exploitée avec du gaz combustible. Un compresseur auxiliaire à entraînement électrique (ventilateur de démarrage) lance la turbine. À une vitesse de rotation minimum, on insuffle du gaz combustible dans la chambre à combustion et il est allumé électriquement. Après avoir atteint la vitesse de rotation de maintien, le compresseur auxiliaire est arrêté, et la turbine tourne d'elle-même. La lubrification et le refroidissement des paliers de la turbine sont assurés par un circuit d'huile avec des refroidisseurs d'huile et d'eau réglés de manière thermostatique, une pompe à huile et un filtre à huile.

Si la température de l'huile est trop élevée ou si la pression de l'huile est trop faible, la turbine s'arrête automatiquement.



ET 792
Turbine à gaz



Contenu didactique/essais

- apprentissage du fonctionnement et du comportement en fonctionnement typique d'une turbine à gaz
- fonctionnement en tant que moteur à réaction
- fonctionnement en tant que turbine de puissance
- détermination du rendement utile
- mesure de la poussée
- détermination de la consommation de combustible spécifique
- enregistrement de la courbe caractéristique de la turbine de puissance
- détermination du rendement du système

Description

- **fonctionnement avec turbine de puissance ou comme moteur à réaction avec tuyère de poussée**
- **modèle simple d'une turbine à gaz**
- **panneau d'affichage et de commande avec schéma de processus clair**
- **gaz propane comme combustible**

Le banc d'essai ET 792 permet d'étudier aussi bien le comportement d'un système en disposition à double arbre (entraînement de véhicule, propulsion de bateau ou entraînement de générateur), que celui d'un moteur à réaction (propulsion d'avion).

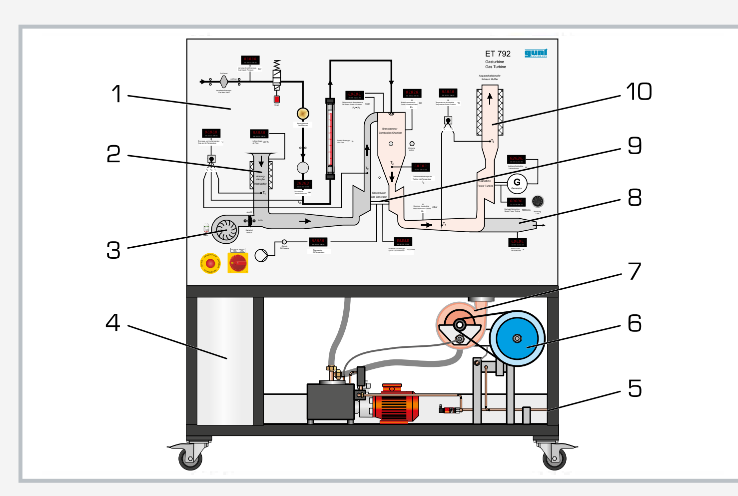
Le cœur du banc d'essai comprend ce que l'on appelle un générateur de gaz et une turbine de puissance à rotation libre. Le générateur de gaz se compose d'un compresseur centrifuge radial, d'une chambre de combustion et d'une turbine radiale. Le compresseur et la turbine sont montés sur un arbre.

Suivant la disposition, l'énergie du courant de gaz d'échappement est soit transformée en énergie mécanique dans la turbine de puissance à rotation libre (disposition à simple arbre), soit accélérée via une tuyère et transformée en poussée (disposition à double arbre). Le passage de la disposition à simple arbre à celle à double arbre s'effectue en quelques manipulations.

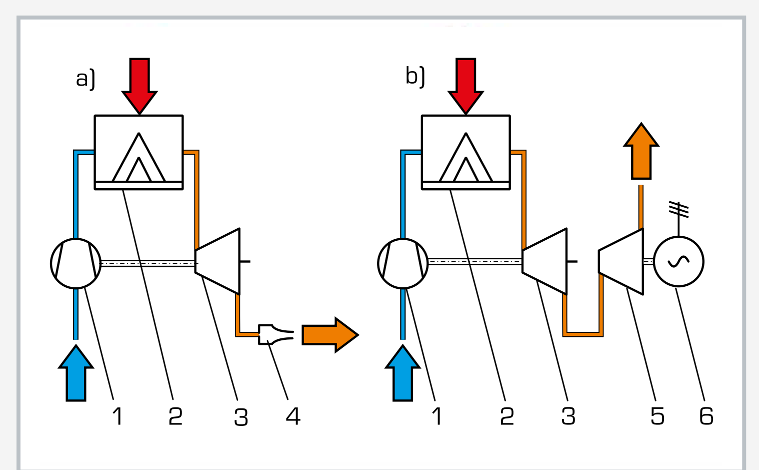
La turbine à gaz fonctionne comme un cycle ouvert durant lequel l'air est extrait de l'environnement, puis réintroduit. Le silencieux d'aspiration d'air et le silencieux d'échappement veillent à réduire le bruit généré lors du fonctionnement de la turbine de puissance. Le propane, en tant que gaz combustible, garantit un fonctionnement propre et sans odeur. Un ventilateur de démarrage est utilisé pour démarrer la turbine à gaz.

Les valeurs mesurées pertinentes sont enregistrées à l'aide de capteurs, et indiquées sur le panneau d'affichage et de commande. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

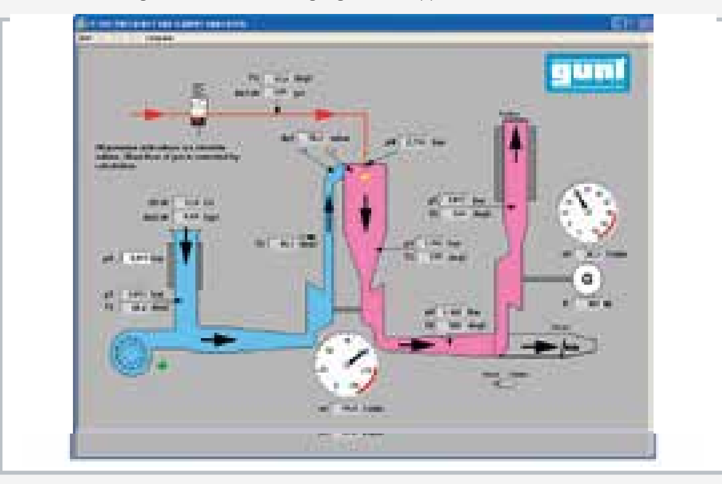
ET 792
Turbine à gaz



1 schéma de processus avec éléments d'affichage et de commande, 2 aspiration d'air avec silencieux, 3 ventilateur de démarrage, 4 coffret de commande, 5 raccord d'eau de refroidissement, 6 générateur, 7 turbine de puissance, 8 tuyère d'échappement avec tuyère de poussée, 9 générateur de gaz (compresseur, chambre de combustion, turbine à haute pression), 10 silencieux pour gaz d'échappement



a) système à simple arbre, b) système à double arbre; 1 compresseur, 2 chambre de combustion, 3 turbine à haute pression, 4 tuyère de poussée, 5 turbine de puissance, 6 générateur;
bleu: air froid, rouge: combustible, orange: gaz d'échappement



Capture d'écran du logiciel: schéma du processus ouvert de la turbine à gaz en disposition à double arbre

Spécification

[1] fonctionnement et comportement en fonctionnement d'une turbine à gaz
[2] disposition à simple arbre pour le fonctionnement en tant que moteur à réaction
[3] disposition à double arbre pour le fonctionnement avec turbine de puissance
[4] ventilateur de démarrage pour démarrer la turbine à gaz
[5] moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence comme générateur
[6] transformation de l'énergie électrique créée en chaleur par 4 résistances de freinage (chacune de 600W)
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Générateur de gaz (compresseur et turbine haute pression)
- plage de vitesse de rotation: 60000...125000min^{-1}
- rapport de pression max.: 1:2,2
- débit massique (air) max.: 0,125kg/sec
- consommation de combustible max.: 120g/min

Turbine de puissance
- plage de vitesse de rotation: 10000...40000min^{-1}
- puissance mécanique: 0...2kW
- puissance électrique: 0...1,5kW
- puissance sonore (distance 1m): max. 80dB(A)
- température des gaz d'échappement: 700°C

Fonctionnement en tant que moteur à réaction
- mesure de la poussée: 0...50N
- puissance sonore (distance 1m): max. 110dB(A)

Plages de mesure
- température: 4x 0...200°C / 3x 0...1200°C
- vitesse de rotation: 0...199999min^{-1}
- puissance électrique: 0...1999W
- débit volumétrique d'air: 0...100L/s
- débit massique du combustible: 0...10,5kg/h
- pression de l'alimentation en combustible: 0...25bar
- pression dans la buse du combustible: 0...4bar
- perte de pression (chambre de combust.): 0...100mbar
- pression (entrée; turbine haute pression): 0...2,5bar
- pression (entrée; turbine de puissance): 0...300mbar

230V, 50Hz, 1 phase, 400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases, 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1500x680x1820mm
Poids: env. 325kg

Nécessaire pour le fonctionnement

eau de refroidissement 200L/h, gaz propane: 4...15bar
ventilation 500m^3/h, évacuation des gaz d'échappement
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 jeu d'outils
1 documentation didactique

ET 795
Simulateur d'une turbine à gaz



Description

- **système permettant la simulation claire d'une installation de turbine**
- **test et simulation sans danger de différents états de fonctionnement**

Pour le fonctionnement des installations industrielles réelles de turbine à gaz, les paramètres de processus de consigne doivent être strictement observés. Pour qu'une installation puisse démarrer, les valeurs de démarrage sont ainsi requises. Une erreur dans la sélection de ces valeurs peut empêcher le démarrage, ou même endommager l'installation. Les plages de vitesse critiques doivent être passées le plus rapidement possible. Certains états de fonctionnement ne doivent pas être atteints lors du fonctionnement d'une installation, afin d'éviter de l'endommager ou que cela ait des conséquences négatives sur l'environnement.

L'appareil d'essai ET 795 est un simulateur. La commande et l'évaluation se font au moyen du logiciel fourni. Le fait de simuler une installation de turbine à gaz présente l'avantage de pouvoir passer sans danger par des états limites, et d'étudier la réaction de l'installation sans risquer de l'endommager.

En modifiant de manière ciblée les paramètres de processus, on a la possibilité de tester la réaction de l'installation.

Neuf paramètres de processus différents peuvent être ajustés par des potentiomètres sur l'unité de commande de l'appareil d'essai. Les paramètres de processus commandent le logiciel. Parmi les paramètres de processus, on compte la température, la pression et le rapport de pression, ainsi que le rendement des différents composants. Le débit massique et la pression du combustible, l'alimentation en air ainsi que la charge du générateur sont également ajustés par les potentiomètres.

Le logiciel offre de nombreuses possibilités de représentation. Le logiciel permet d'observer comment le rendement global de l'installation se modifie en fonction des valeurs que l'on a paramétrées. Le coefficient d'air λ, la puissance au niveau de l'arbre d'entraînement du compresseur et au niveau du générateur, ainsi que le rapport de pression du compresseur peuvent être calculés dans le logiciel.

L'appareil d'essai est raccordé par une connexion USB à un PC.

Contenu didactique/essais

- acquisition d'une compréhension fondamentale du processus d'une turbine à gaz
- familiarisation avec les particularités d'une installation de turbine à gaz à deux arbres
- test du comportement au démarrage et de la variation de la charge d'une turbine à gaz
- simulation du parcours d'un diagramme caractéristique
- étude de l'influence des différents composants sur le rendement

ET 795
Simulateur d'une turbine à gaz

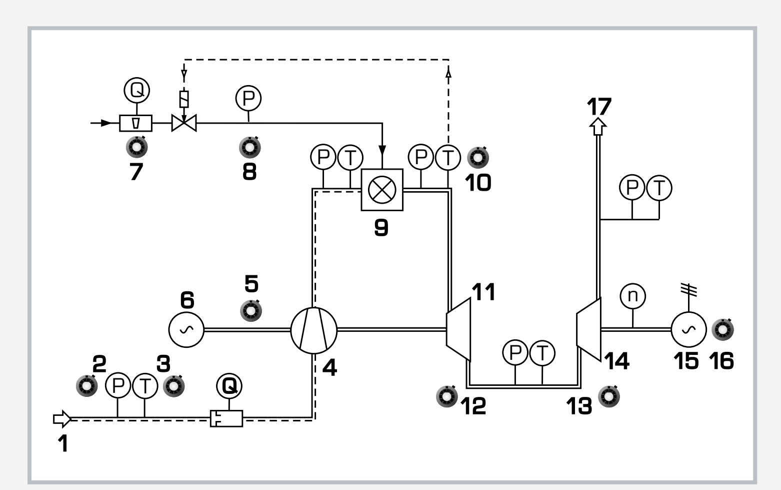


Schéma de processus de la turbine à gaz
1 entrée d'air, 2 potentiomètre: pression d'aspiration, 3 potentiomètre: température d'aspiration, 4 compresseur, 5 potentiomètre: rapport de pression, 6 moteur de démarrage, 7 potentiomètre: débit massique de combustible, 8 potentiomètre: pression du combustible, 9 chambre de combustion, 10 potentiomètre: température de la chambre de combustion, 11 turbine à haute pression, 12 potentiomètre: rendement compresseur/turbine, 13 potentiomètre: rendement de la turbine de puissance, 14 turbine de puissance, 15 générateur, 16 potentiomètre: charge du générateur, 17 sortie des gaz d'échappement;
P pression, T température, Q débit massique, n vitesse de rotation

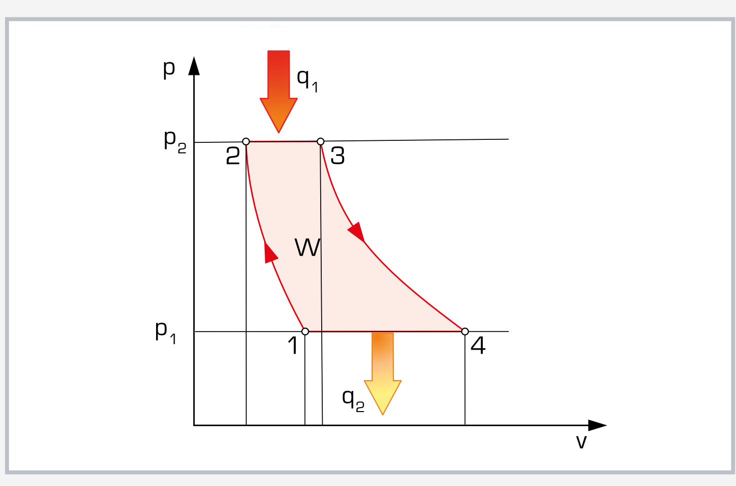


Diagramme p,v du processus de la turbine à gaz
p pression, v volume spécifique, W travail utile, q_1 apport de chaleur, q_2 dissipation de la chaleur
1-2 compression, 2-3 chauffage, 3-4 expansion, 4-1 refroidissement



Capture d'écran du logiciel: champ de commande d'une installation de turbine à deux arbres

Spécification

[1] simulation de fonctionnement d'une installation de turbine à gaz
[2] installation de turbine à deux arbres avec turbine de puissance libre
[3] modification de 9 paramètres de processus par des potentiomètres
[4] le logiciel calcule: coefficient d'air λ, rapport de pression du compresseur, rendement, débits massiques de gaz et d'air, puissance de l'arbre d'entraînement et du générateur
[5] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

9 potentiomètres pour l'ajustage des valeurs suivantes
- pression d'aspiration: 0...2bar abs.
- température d'aspiration: 0...100°C
- rapport de pression max. à vitesse de rotation max.: 1...10
- débit massique de combustible, position de la soupape: 0...100%
- pression du combustible: 0...10bar
- température max. de la chambre de combustion: 500...1500°C
- rendement compresseur/turbine: 0...100%
- rendement de la turbine de puissance: 0...100%
- charge du générateur: 0...100%

entrées et sorties
- 16x analogique in, 1x analogique out
- resp. 4x numérique in/out

Lxlxh: 600x350x500mm
Poids: env. 20kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 notice

ET 794
Turbine à gaz avec turbine de puissance



Contenu didactique/essais

- détermination de la puissance sur l'arbre
- détermination de la consommation de combustible spécifique
- enregistrement de la courbe caractéristique de la turbine de puissance
- détermination du rendement du système

Description

- **modèle simple d'une turbine à gaz**
- **disposition à double arbre avec turbine à haute pression et turbine de puissance**
- **panneau d'affichage et de commande avec schéma de processus clair**
- **gaz propane comme combustible**

Les turbines à gaz avec turbines de puissance à rotation libre sont utilisées de préférence comme entraînements lorsque les exigences de puissance sont très variables, notamment dans les centrales électriques, sur les bateaux, dans les locomotives et dans les véhicules automobiles.

ET 794 étudie le comportement d'un système avec deux turbines indépendantes en disposition à double arbre. En l'occurrence, une turbine (turbine à haute pression) actionne le compresseur, et l'autre turbine (turbine de puissance) fournit la puissance utile. Les changements de puissance dans la turbine de puissance n'ont aucune influence sur le compresseur qui peut continuer à fonctionner à une vitesse de rotation optimale au meilleur point de rendement.

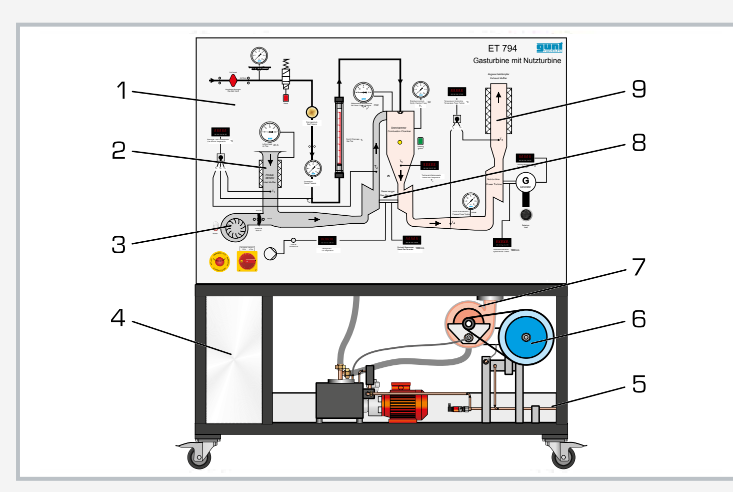
Le banc d'essai comprend les composants suivants: compresseur, chambre de combustion cylindrique et turbine; système d'alimentation en combustible; système de démarrage et d'allumage; système de lubrification; turbine de puissance; générateur et système de technique de mesure et de commande. L'ensemble complet s'appelle turbine à gaz. La turbine à gaz fonctionne comme un cycle ouvert durant lequel l'air est extrait de l'environnement, puis réintroduit.

L'air ambiant aspiré est amené à une pression plus élevée dans le compresseur radial à un étage. En entrant dans la chambre de combustion, seule une partie de l'air est utilisée pour la combustion. Cet air est ralenti à l'aide d'un générateur de turbulences, jusqu'à ce que le combustible ajouté puisse brûler avec une flamme stable. La plus grande partie de l'air est utilisée pour refroidir les composants de la chambre de combustion, et mélangée aux gaz de la combustion à l'extrémité de la chambre de combustion. Dès lors, la température du gaz est réduite à la température d'entrée admissible de la turbine.

De la chambre de combustion, le gaz passe dans la turbine radiale à un étage, et cède une partie de son énergie à la turbine. Cette énergie actionne le compresseur. Dans la turbine de puissance, le gaz cède la partie restante de son énergie qui est transformée en énergie mécanique et actionne un générateur. L'énergie électrique créée est dérivée via des résistances de freinage. Le démarrage de la turbine à gaz s'effectue à l'aide d'un ventilateur de démarrage.

La vitesse de rotation, les températures, les pressions ainsi que les débits massiques de l'air et du combustible sont enregistrés et affichés à l'aide de capteurs. Les grandeurs caractéristiques sont déterminées.

ET 794
Turbine à gaz avec turbine de puissance



1 schéma de processus avec éléments d'affichage et de commande, 2 aspiration d'air avec silencieux, 3 ventilateur de démarrage, 4 coffret de commande, 5 raccord d'eau de refroidissement, 6 générateur, 7 turbine de puissance, 8 générateur de gaz (compresseur, chambre de combustion, turbine), 9 silencieux pour gaz d'échappement

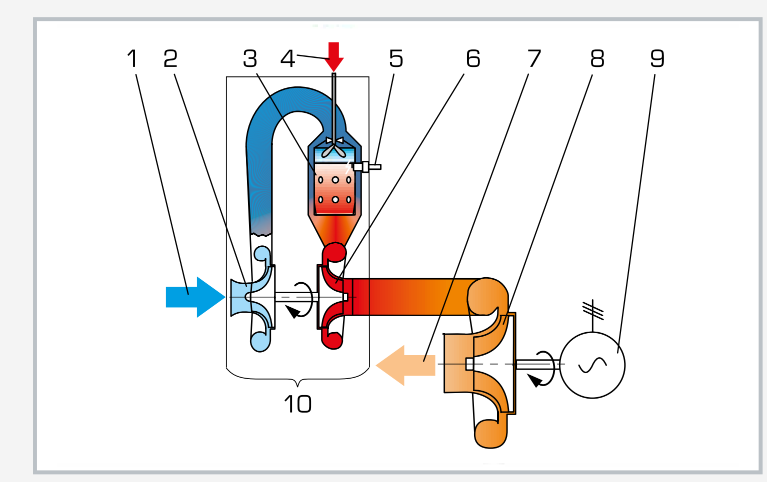


Schéma fonctionnel du système: 1 air froid, 2 compresseur, 3 chambre de combustion cylindrique, 4 combustible, 5 bougie, 6 turbine à haute pression, 7 gaz d'échappement, 8 turbine de puissance, 9 générateur

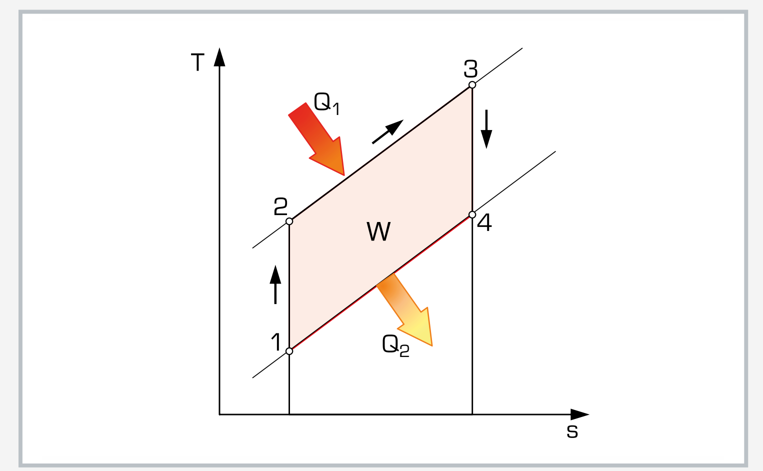


Diagramme T,s du processus ouvert de turbine à gaz: 1 – 2 compression, 2 – 3 chaleur fournie, 3 – 4 détente; Q_1 apport de chaleur, Q_2 chaleur prélevée, W travail utile

Spécification

[1] essais de fonctionnement et de comportement en fonctionnement d'une turbine à gaz en disposition à double arbre
[2] fonctionnement avec turbine de puissance et générateur
[3] moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence comme générateur
[4] ventilateur de démarrage pour démarrer la turbine à gaz
[5] transformation de l'énergie électrique créée en chaleur par 4 résistances de freinage (chacune de 600W)
[6] insonorisation efficace au niveau de l'orifice d'aspiration et d'échappement pour l'utilisation dans des salles de laboratoire
[7] les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages dans le schéma de processus

Caractéristiques techniques

Générateur de gaz (compresseur et turbine à haute pression)
- plage de vitesse de rotation: 60000...125000min^{-1}
- rapport de pression max.: 1:2,0
- débit massique (air) max.: 0,115kg/sec
- consommation de combustible max.: 120g/min

Turbine de puissance
- plage de vitesse de rotation: 10000...40000min^{-1}
- puissance mécanique: 0...1,5kW
- puissance électrique: 0...1kW
- puissance sonore (distance 1m): max. 80dB(A)
- température des gaz d'échappement: 700°C

Plages de mesure
- température: 4x 0...200°C / 3x 0...1200°C
- vitesse de rotation: 0...199999min^{-1}
- puissance électrique: 0...1999W
- vitesse de l'entrée d'air: 0...28m/s
- débit massique du combustible: 1,5...10,5kg/h
- pression de l'alimentation en combustible: 0...25bar
- pression dans la buse du combustible: 0...4bar
- perte de pression de la chambre de combustion: 0...20mbar
- pression d'entrée de la turbine à gaz: 0...2,5bar
- pression d'entrée de la turbine de puissance: 0...250mbar

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
Lxlxh: 1500x670x1800mm
Poids: env. 310kg

Nécessaire pour le fonctionnement

eau de refroidissement: 200L/h, gaz propane: 4...15bar
ventilation 500m^3/h, évacuation des gaz d'échappement

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 documentation didactique

ET 796
Turbine à gaz comme moteur à réaction



L'illustration montre le moteur à réaction sans la grille de protection.

Description

- **turbine à gaz utilisée comme moteur à réaction**
- **processus ouvert de turbine à gaz**

Les moteurs à réaction sont des turbines à gaz qui créent une réaction. Dans la construction aéronautique, les moteurs à réaction sont utilisés comme moyens de propulsion, en raison de leur faible poids et de leur puissance élevée.

Le banc d'essai ET 796 permet d'étudier le comportement en fonctionnement d'un moteur à réaction. L'ET 796 comprend les composants suivants: moteur à réaction (avec compresseur, chambre de combustion annulaire, turbine et tuyère de poussée), système d'alimentation en combustible, système de démarrage et d'allumage, et système de technique de mesure et de commande. La turbine à gaz fonctionne comme un cycle ouvert durant lequel l'air est extrait de l'environnement, puis réintroduit.

Dans le moteur à réaction, l'air ambiant aspiré est d'abord amené à une pression plus élevée dans le compresseur radial à un étage. Dans la chambre de combustion suivante, le combustible est ajouté à l'air comprimé, et le mélange créé est brûlé. La température et la vitesse d'écoulement du gaz augmentent. De la chambre de combustion, le gaz passe dans la turbine axiale à un étage, et cède une partie de son énergie à la turbine. Cette turbine actionne le compresseur. Dans la tuyère de poussée, le gaz partiellement détendu et refroidi se détend à la pression ambiante, et accélère rapidement presque à la vitesse sonique. Le gaz se dégageant à une vitesse plus élevée crée la poussée. Afin de réduire la température de sortie, le jet d'échappement est mélangé à l'air ambiant dans un tube mélangeur. Le démarrage de la turbine à gaz s'effectue de manière totalement automatique à l'aide d'un démarreur électrique.

La chambre de combustion annulaire se situe entre le compresseur et la turbine. Avec une utilisation optimale du combustible, une faible perte de pression et un bon comportement à l'allumage, la construction annulaire de cette chambre de combustion est typique de l'emploi dans des moteurs à réaction. Le support de turbine mobile, équipé d'un capteur de force, permet de mesurer la poussée.

La vitesse de rotation, les températures, ainsi que les débits massiques de l'air et du combustible, sont enregistrés à l'aide de capteurs. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

Contenu didactique/essais

- comportement en fonctionnement d'un moteur à réaction, y compris la procédure de démarrage
- détermination de la poussée spécifique
- détermination de la consommation de combustible spécifique
- détermination du coefficient d'air λ

ET 796
Turbine à gaz comme moteur à réaction



1 tube mélangeur, 2 moteur à réaction, 3 support de turbine, 4 capteur de force pour mesurer la poussée, 5 réservoir de combustible, 6 éléments de commande de la turbine à gaz, 7 coffret de commande

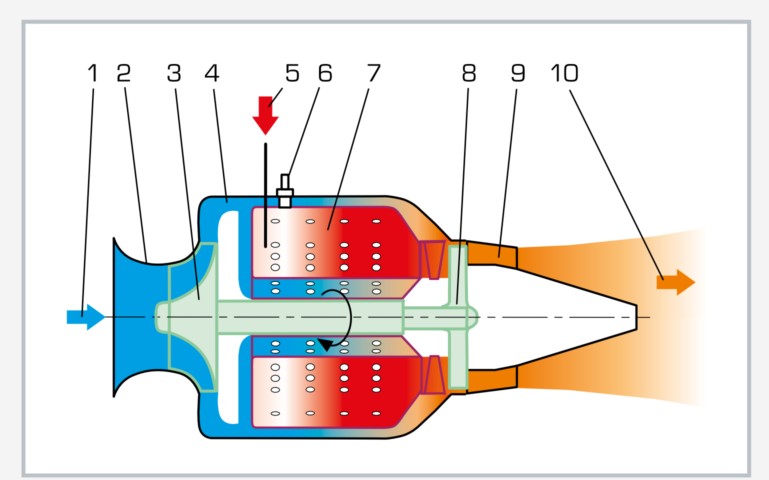
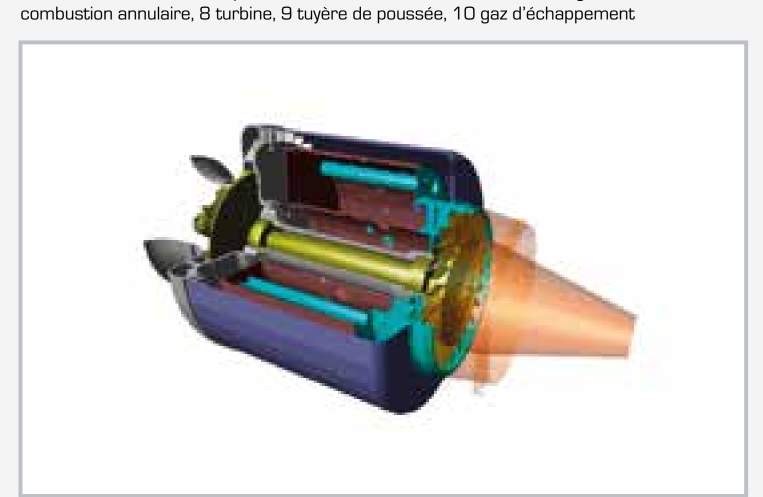


Schéma de processus: processus ouvert de turbine à gaz
1 air froid, 2 carter, 3 compresseur, 4 diffuseur, 5 combustible, 6 bougie, 7 chambre de combustion annulaire, 8 turbine, 9 tuyère de poussée, 10 gaz d'échappement



Modèle d'un moteur à réaction

Spécification

[1] essais de fonctionnement et de comportement en fonctionnement d'un moteur à réaction
[2] turbine à gaz avec compresseur radial et turbine axiale comme moteur à réaction
[3] moteur à simple arbre
[4] grille de protection pour le moteur à réaction
[5] turbine montée de manière mobile avec transducteur de force pour mesurer la poussée
[6] démarreur électrique pour le démarrage totalement automatique
[7] commande à distance supplémentaire pour l'affichage et la commande du moteur à réaction
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Moteur à réaction
- poussée max.: 82N à 117000min^{-1}
- plage de vitesse de rotation: 35000...117000min^{-1}
- consommation de combustible: max. 22L/h (pleine charge)
- température des gaz d'échappement: 610°C
- puissance sonore à une distance de 1m: max. 130dB(A)

Combustible
- kérosène ou pétrole + huile pour turbine

Système de démarrage: démarreur électrique
1 réservoir de combustible: 5L

Plages de mesure
- pression différentielle: 0...150mbar
- pression: 0...2,5bar (chambre de combustion)
- température: 2x 0...1200°C / 1x 0...400°C
- vitesse de rotation: 0...120000min^{-1}
- consommation: 0...25L/h (combustible)
- force: 0...+/-200N

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1230x800x1330mm
Poids: env. 112kg

Nécessaire pour le fonctionnement

ventilation 1000m^3/h, évacuation des gaz d'échappement requise
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 huile pour turbine (250mL)
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique
1 notice du fabricant (turbine)



Connaissances de base

Compresseurs

Les compresseurs sont utilisés pour comprimer et transporter des gaz. Leur rapport de pression élevé les distingue des ventilateurs.

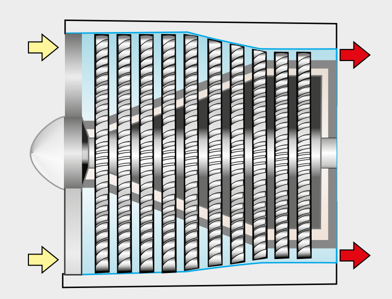
Il existe différentes constructions de compresseurs selon leur domaine d'application. Les principales sont ici expliquées brièvement.

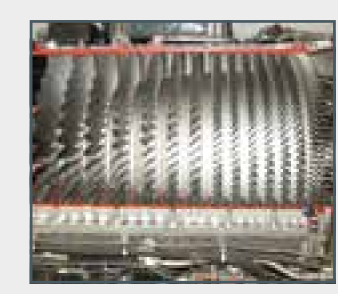
Voici les grandeurs caractéristiques des compresseurs:

- quantité fournie – volume de fluide libéré/temps
- pression de service – surpression possible
- rapport de pression π = pression finale/pression d'aspiration
- rendement volumétrique – débit volumétrique transporté/débit volumétrique possible théorique (du fait de la géométrie)

Turbocompresseurs

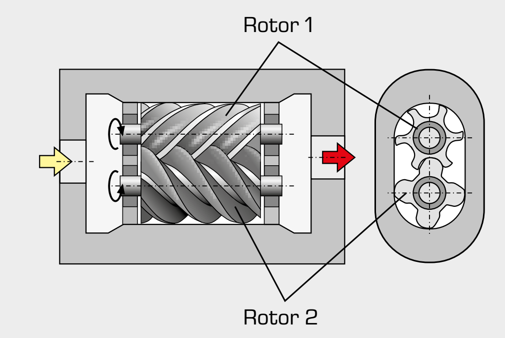
- ils font partie des turbomachines réceptrices; l'énergie est transférée du compresseur au fluide par l'intermédiaire des forces d'écoulement
- on distingue les compresseurs radiaux et axiaux, selon la direction d'écoulement du fluide
- ils peuvent comprimer des débits volumétriques très élevés; les vitesses d'écoulement peuvent atteindre un niveau très élevé (compresseurs transsoniques)
- **construction:** carter avec réducteur, arbre avec une ou plusieurs roues et aubes mobiles
- **utilisation:** dans les turbines à gaz, les moteurs à réaction ou les ventilateurs dans les hauts fourneaux des aciéries, les turbosoufflantes des moteurs à combustion interne

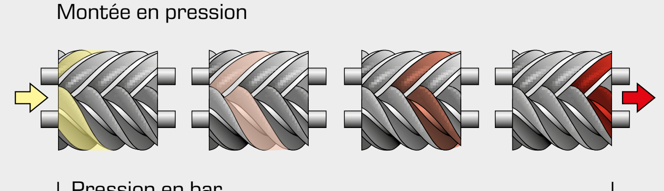




Compresseurs à vis (comparables à la pompe à vis)

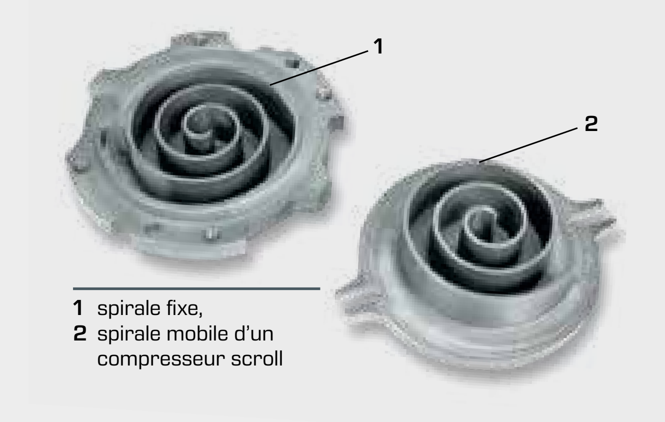
- ils fonctionnent selon le principe du refoulement
- ils se distinguent par un refoulement très continu sans pulsation; capables de générer des pressions très élevées
- **construction:** dans le carter, on trouve deux à trois rotors tournant en sens inverse et présentant un profil hélicoïdal à denture externe. Le transport du fluide est assuré par l'imbrication entre eux des profils hélicoïdaux.
- **utilisation:** exploitation industrielle dans les grandes installations de génération d'air comprimé, ou en génie frigorifique



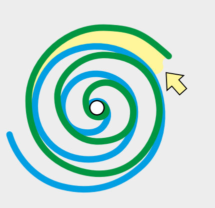


Compresseurs scroll

- ils comptent parmi les machines réceptrices volumétriques; l'énergie est transférée du compresseur au fluide via un volume variable
- **construction et mode opératoire:** deux spirales emboîtées/introduites l'une dans l'autre, situées à une distance minimale l'une de l'autre. L'une des spirales est fixe (stator), l'autre (rotor) se déplace sur une trajectoire circulaire. Deux chambres apparaissent sous l'effet du mouvement, dont le volume se réduit en continu. L'entrée du fluide/gaz à transporter se trouve à l'extérieur, la sortie du gaz comprimé se trouve au milieu des spirales. Les paires de spirales ne se touchent pas, et ne doivent donc pas être lubrifiées pour fonctionner.
- **utilisation:** p.ex. installations frigorifiques ou pompes à chaleur



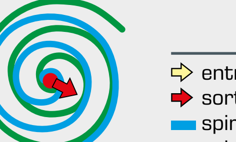
1 spirale fixe,
2 spirale mobile d'un compresseur scroll







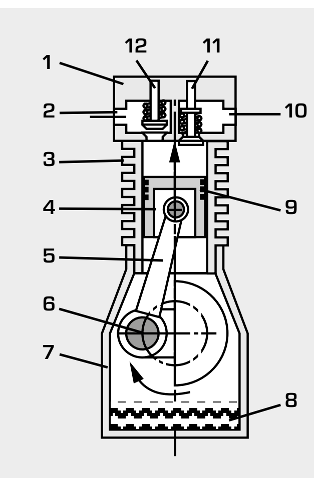




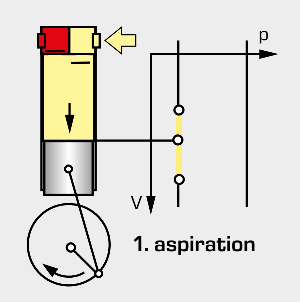
entrée, basse pression,
sortie, haute pression,
spirale fixe,
spirale en orbite

Compresseurs à piston

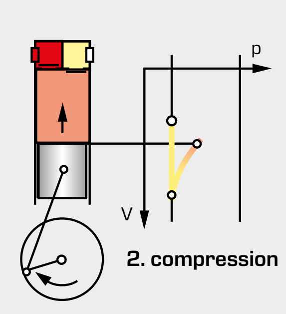
- ils comptent parmi les machines réceptrices volumétriques; l'énergie est transférée du compresseur au fluide via un volume variable
- **construction et mode opératoire:** avec le cylindre et le couvercle du cylindre, le piston (refouleur) forme un espace clos à volumes variables. Un mécanisme bielle-manivelle génère un mouvement de va-et-vient périodique du piston dans le cylindre. Des soupapes automatiques, situées dans le couvercle du cylindre, permettent au fluide de transport d'entrer dans la chambre de cylindre et d'en sortir. Le principe de fonctionnement est similaire à celui du moteur Otto.
- **utilisation:** compression des gaz, haute pression, démarrage des moteurs à combustion interne, utilisation la plus répandue



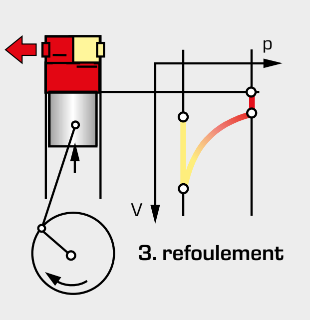
1 tête de cylindre,
2 bouche de ventilation,
3 cylindre avec anneaux de refroidissement,
4 piston,
5 biellette,
6 vilebrequin,
7 carter de vilebrequin,
8 carter d'huile,
9 anneaux de piston,
10 entrée d'air,
11 soupape d'admission,
12 soupape de sortie



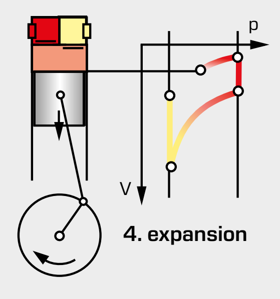
1. aspiration



2. compression



3. refoulement



4. expansion

ET 500
Compresseur à piston bi-étagé



Description

- **compresseur à deux étages avec refroidisseur intermédiaire**
- **processus de compression dans le diagramme p,V**

Pour la production d'air comprimé comme source d'énergie pour l'industrie et l'artisanat, on utilise ce qu'on appelle des installations de production d'air comprimé. Un élément central de ces installations est le compresseur. L'énergie mécanique apportée y est transformée en une augmentation de la pression de l'air. Les installations de production d'air comprimé sont utilisées pour entraîner des machines dans l'industrie minière, pour les commandes pneumatiques dans les ateliers d'assemblage, ou comme station de gonflage des pneus dans les stations-services.

L'ET 500 comprend une installation complète de production d'air comprimé, avec un compresseur à deux étages et un réservoir sous pression supplémentaire qui sert de refroidisseur intermédiaire. Le banc d'essai permet d'enregistrer les courbes caractéristiques du compresseur, et de représenter le processus de compression dans le diagramme p,V.

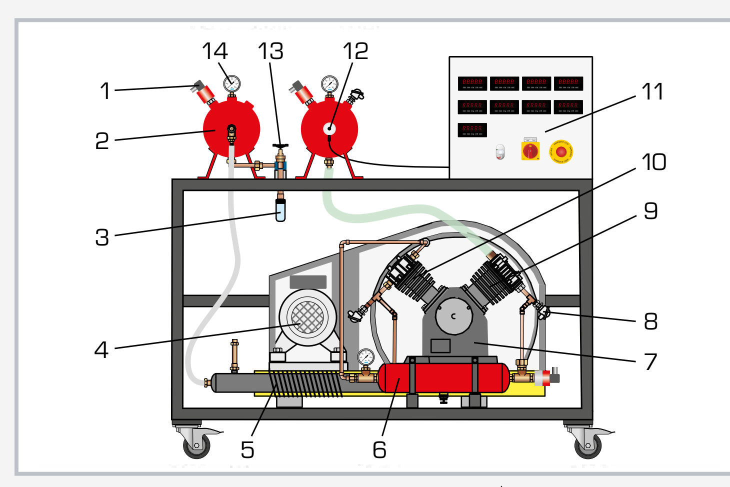
L'air est aspiré dans le réservoir d'aspiration où il est calmé, avant d'être comprimé en deux étages. Entre le 1er et le 2nd étage, on trouve un réservoir sous pression supplémentaire pour le refroidissement intermédiaire. Au-delà du 2nd étage, l'air comprimé est compressé par l'intermédiaire d'un tube de refroidissement en direction d'un autre réservoir sous pression. Pour obtenir un régime stationnaire, on peut purger l'air comprimé à travers une soupape de purge munie de silencieux. Des soupapes de sécurité et un pressostat complètent l'installation.

Des capteurs enregistrent les pressions et les températures aux deux étages, ainsi que la puissance électrique absorbée. Une buse située sur le réservoir d'aspiration détermine le débit volumétrique d'aspiration. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises à un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

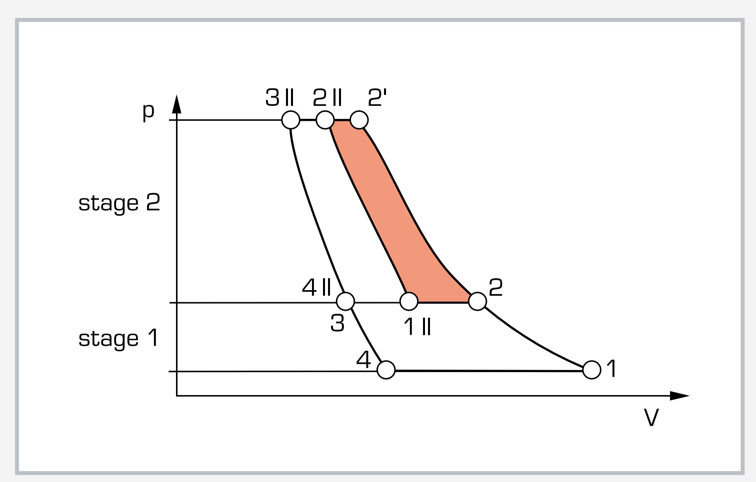
Contenu didactique/essais

- structure et fonctionnement d'un compresseur à deux étages
- mesure des températures et pressions requises
- détermination du débit volumétrique d'aspiration
- processus de compression dans le diagramme p,V
- détermination du rendement

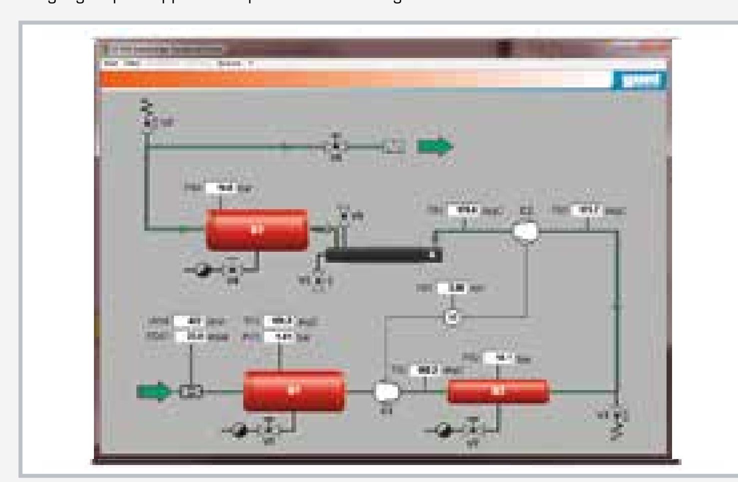
ET 500
Compresseur à piston bi-étagé



1 capteur de pression, 2 réservoir sous pression après le 2nd étage, 3 vanne d'écoulement avec silencieux, 4 moteur d'entraînement, 5 refroidisseur intermédiaire, 6 réservoir sous pression après le 1er étage (stockage intermédiaire), 7 compresseur à piston, 8 capteur de température, 9 compresseur (1er étage), 10 compresseur (2nd étage), 11 armoire de commande, 12 réservoir d'aspiration avec tuyère de mesure, 13 soupape de sûreté, 14 manomètre



Compression bi-étagée avec refroidissement intermédiaire (2-1II) sur le diagramme p, V
rouge: gain par rapport à un procédé mono-étagé



Capture d'écran du logiciel: schéma du processus d'un compresseur bi-étagé

Spécification

[1] enregistrement de la caractéristique d'un compresseur à deux étages
[2] compresseur à piston avec 2 cylindres en V
[3] réservoir d'aspiration, avec buse pour la mesure du débit volumétrique d'aspiration, capteur de pression et manomètre supplémentaire
[4] réservoir sous pression après le 1er étage comme refroidisseur intermédiaire
[5] réservoir sous pression après le 2nd étage avec soupape de sécurité, soupape de purge et silencieux ainsi qu'un manomètre et un pressostat supplémentaires
[6] capteurs de pressions, températures et puissance électrique
[7] Affichage numérique des températures, pressions, pressions différentielles et puissance électrique
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- à 2 étages
- 2 cylindres en V
- puissance absorbée: 3kW
- vitesse de rotation: 710min^{-1}
- capacité d'aspiration: 250L/min
- débit: 202L/min (à 12bar)
- pression de service: 12bar, max. 35bar

Réservoir d'aspiration: 20L
Réservoirs sous pression, 16bar; capacité:
- après le 1er étage: 5L
- après le 2nd étage: 20L

Soupape de sûreté: 16bar

Plages de mesure
- pression différentielle: 0...25mbar
- pression: 1x 0...1,5bar; 2x 0...16bar
- température: 4x 0...200°C
- puissance: 0...3500W

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1770x800x1520mm
Poids: env. 304kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



ET 513
Compresseur à piston à un étage



Contenu didactique/essais

- construction et comportement en service d'une installation de production d'air comprimé avec compresseur à piston à un étage
- détermination de la caractéristique
- détermination du rendement volumétrique
- détermination du rendement isotherme

Description

- **compresseur à piston à un étage comme machine réceptrice**
- **élément de la série GUNT-FEMLine**
- **construction d'une installation complète de compresseur avec le dispositif de freinage et d'entraînement universel HM 365**

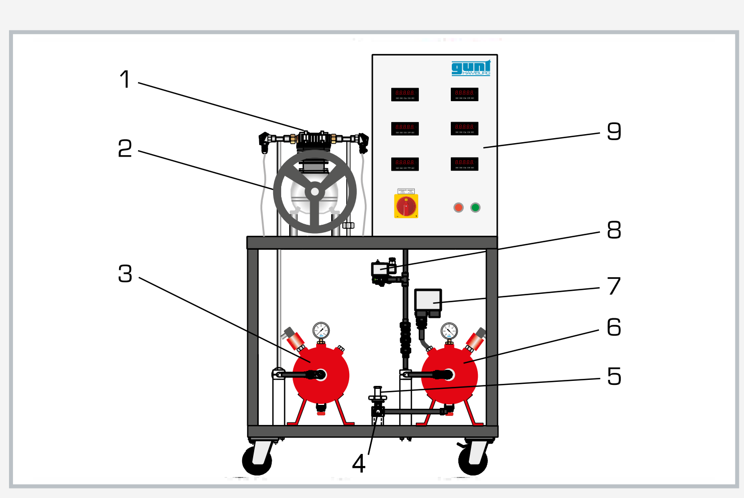
Pour produire de l'air comprimé pour les industries et métiers qui l'utilisent comme source d'énergie, on utilise ce que l'on appelle des installations de production d'air comprimé. Un élément central de ces installations est constitué par le compresseur. Il sert à générer une augmentation de la pression de l'air en utilisant de l'énergie mécanique. Les installations de production d'air comprimé sont utilisées pour entraîner des machines dans l'industrie minière, pour les commandes pneumatiques dans les ateliers d'assemblage, ou comme station de gonflage des pneus dans les stations-services.

Le compresseur à piston à un étage ET 513 forme, avec le dispositif de freinage et d'entraînement universel HM 365, une installation complète de production d'air comprimé.

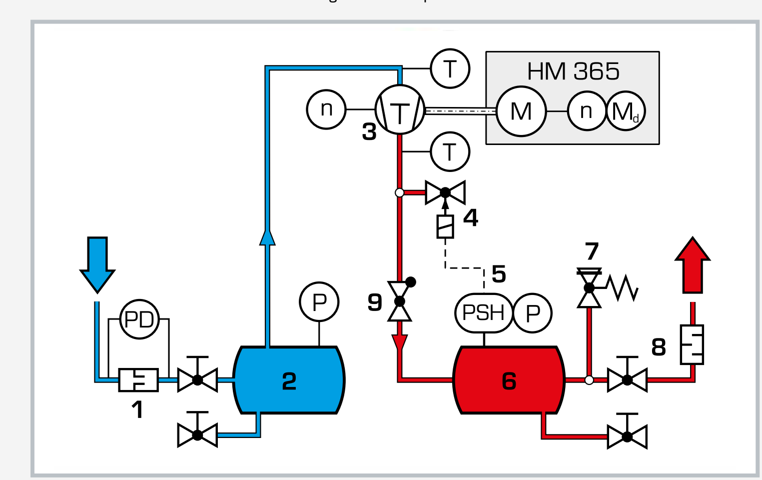
Le dispositif de freinage et d'entraînement universel HM 365 entraîne le compresseur par le biais d'une courroie trapézoïdale. La vitesse de rotation du compresseur est réglée sur le HM 365. L'air est aspiré dans le réservoir d'aspiration où il est stabilisé, avant d'être comprimé dans le compresseur à piston. L'air comprimé est ensuite acheminé dans un réservoir sous pression, et est ainsi rendu disponible comme fluide de travail. Pour ajuster un état de fonctionnement stationnaire, on peut évacuer l'air comprimé par une soupape de purge avec silencieux. Un pressostat avec électrovanne servant à limiter la pression, ainsi qu'une soupape de sécurité, viennent compléter l'installation.

Une tuyère de mesure située sur le réservoir d'aspiration permet de déterminer le débit volumique d'aspiration. Des capteurs enregistrent les pressions et les températures avant et après le compresseur. On peut par ailleurs consulter sur des manomètres la pression qui règne dans les réservoirs. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. La mesure de la vitesse de rotation et du couple est intégrée au HM 365.

ET 513
Compresseur à piston à un étage



1 compresseur, 2 poulie de courroie, 3 réservoir d'aspiration, 4 soupape de purge avec silencieux, 5 soupape de sécurité, 6 réservoir sous pression, 7 pressostat, 8 électrovanne, 9 armoire de commande avec affichages numériques



1 tuyère de mesure, 2 réservoir d'aspiration, 3 compresseur à piston, 4 électrovanne, 5 pressostat, 6 réservoir sous pression, 7 soupape de sécurité, 8 soupape de purge avec silencieux, 9 soupape de retenue; P pression, PD pression différentielle, T température, n vitesse de rotation, M_d couple


L'illustration montre un montage expérimental complet des ET 513 et HM 365

Spécification

[1] étude d'une machine réceptrice servant à la génération d'air comprimé
[2] compresseur à piston à un étage avec un cylindre
[3] entraînement et ajustage de la vitesse de rotation par le HM 365
[4] réservoir d'aspiration avec tuyère de mesure pour la détermination du débit volumique d'aspiration
[5] réservoir d'aspiration et réservoir sous pression, respectivement avec un capteur de pression et un manomètre supplémentaire
[6] soupape de sécurité et pressostat avec électrovanne pour la limitation de la pression
[7] soupape de purge avec silencieux pour l'ajustage d'un fonctionnement stationnaire
[8] capteurs enregistrant les pressions et les températures avant et après le compresseur
[9] affichages numériques du débit d'air, des températures, des pressions, des pressions différentielles et de la vitesse de rotation du compresseur
[10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Caractéristiques techniques
Compresseur, 1 cylindre, 1 étage
- puissance absorbée: 750W
- vitesse de rotation nominale: 980min^{-1}
- surpression de service: 8bar
- pression max.: 10bar
- capacité d'aspiration: 150L/min à 8bar
- alésage: 65mm
- course: 46mm

Soupape de sécurité: 10bar
Réservoir sous pression
- 16bar
- contenu: 20L

Réservoir d'aspiration: 20L

Plages de mesure
- température: 1x 0...200°C / 1x 0...100°C
- pression: 0...16bar / -1...1bar
- débit: 0...150L/min
- vitesse de rotation: 0...1000min^{-1}

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 900x800x1510mm
Poids: env. 130kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

banc d'essai, 1 CD avec logiciel GUNT + câble USB, 1 courroie trapézoïdale, 1 protection pour courroie trapézoïdale
1 documentation didactique

ET 432
Comportement d'un compresseur à piston



Description

- **compresseur à piston à deux cylindres ouverts issu du génie frigorifique**
- **enregistrement de la courbe caractéristique pression-débit volumétrique**
- **mesure de la quantité aspirée et du rapport de pression**
- **détermination du rendement volumétrique et du rendement**

Les petites installations frigorifiques possèdent la plupart du temps un compresseur à piston. Le compresseur à piston fait partie des machines volumétriques. Celles-ci possèdent des caractéristiques qui se distinguent de manière déterminante des machines à écoulement, qui font partie des turbocompresseurs usuels dans le cas des très grosses installations.

Le débit de refoulement dépend, en premier lieu, de la cylindrée et de la vitesse de rotation dans le cas des compresseurs à piston. En raison du volume mort qu'il ne faut pas éviter, le débit de refoulement diminue dans le cas d'un rapport de pression qui augmente. Étant donné que le débit de refoulement est une mesure de la puissance frigorifique de l'installation frigorifique, les caractéristiques du compresseur sont importantes pour la puissance de l'ensemble de l'installation.

Pour ce banc d'essai, un compresseur ouvert à agent réfrigérant usuel est utilisé avec de l'air dans un processus ouvert. Les pressions d'entrée et de sortie, et ainsi le rapport de pression, peuvent être ajustés par vanne dans une large amplitude. L'entraînement réalisé par un convertisseur de fréquence permet d'obtenir différentes vitesses de rotation.

Les pressions, températures, puissances électriques absorbées, vitesse de rotation et couples sont pris en compte. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

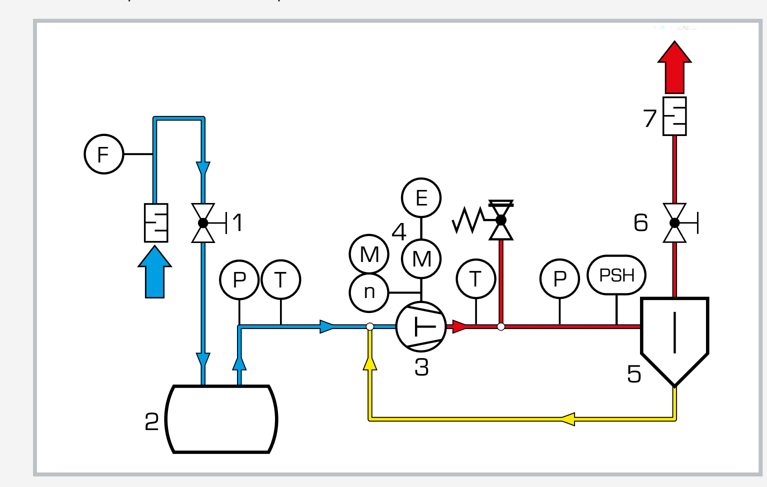
Contenu didactique/essais

- détermination des grandeurs caractéristiques d'un compresseur à piston à l'essai
- enregistrement de la courbe caractéristique pression-débit volumétrique
- détermination du rendement volumétrique pour différentes pressions d'aspiration, rapports de pression et vitesses de rotation
- détermination de la puissance isotherme du compresseur
- mesure des puissances mécaniques et électriques absorbées en fonction de la pression d'aspiration et du rapport de pression
- détermination du rendement mécanique et du rendement total

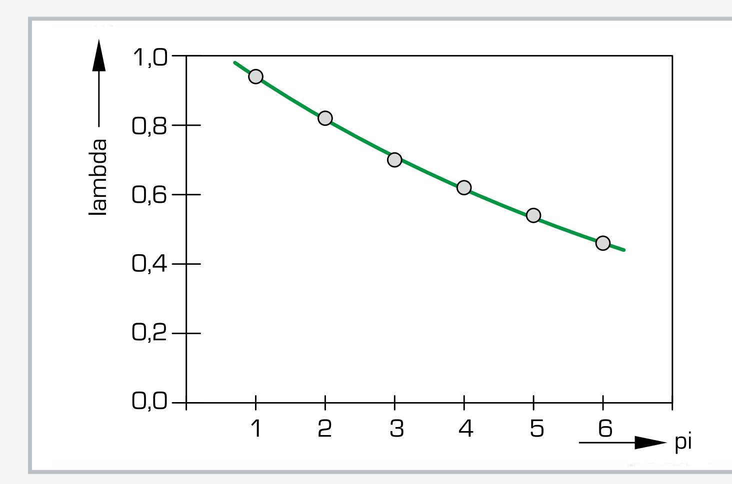
ET 432
Comportement d'un compresseur à piston



1 éléments d'affichage et de commande, 2 débitmètre, 3 compresseur de l'agent réfrigérant, 4 réservoir de stabilisation, 5 moteur d'entraînement avec mesure du couple, 6 manomètre, 7 séparateur d'huile, 8 pressostat, 9 vanne



1 vanne côté aspiration, 2 réservoir de stabilisation, 3 compresseur, 4 moteur d'entraînement, 5 séparateur d'huile, 6 vanne côté pression, 7 silencieux; F débit, T température, P pression, M couple, n vitesse de rotation, E puissance électrique; PSH pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression, jaune: retour d'huile



Évolution du rendement volumétrique lambda en fonction du rapport de pression pi

Spécification

[1] banc d'essai pour compresseur à piston en génie frigorifique
[2] processus ouvert avec air
[3] compresseur à deux cylindres ouverts typique
[4] entraînement par moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence pour un ajustage de la vitesse de rotation
[5] pression d'entrée et de sortie (rapport de pression) ajustable par vanne
[6] instrumentation: 2 manomètres, débitmètre, capteurs de pression, de température, de vitesse de rotation, de couple (par force), de débit, affichage numérique de la puissance
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- vitesse de rotation: 465...975min^{-1}
- nombre de cylindres: 2
- course: 26mm
- alésage: 35mm
- cylindrée: 50cm^3
- volume balayé max.: 2,92m^3/h (à une vitesse de rotation du moteur de 1450min^{-1})

Moteur d'entraînement
- puissance: 550W
- vitesse de rotation: 0...1400min^{-1}

Plages de mesure
- couple: 0...10Nm
- vitesse de rotation: 0...2500min^{-1}
- puissance: 0...600W
- température: 1x 0...100°C, 1x 0...200°C
- débit: 0,4...3,2Nm^3/h
- pression:
  - capteur de pression: -1...1,5bar / -1...24bar
  - manomètre: -1...9bar / -1...24bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1510x790x1750mm
Poids: env. 148kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 508
Simulateur d'un compresseur bi-étagé



Description

■ **simulation d'une installation de compresseur avec refroidissement intermédiaire et post-refroidissement**

Pour le fonctionnement des installations de compresseur industrielles réelles, les paramètres de processus de consigne doivent être strictement observés. Certains états de fonctionnement ne doivent pas être atteints, afin d'éviter d'endommager l'installation.

L'appareil d'essai ET 508 est un simulateur permettant aux étudiants de se familiariser sans danger aux différents états de fonctionnement d'une installation de compresseur à deux étages. Les états limites et leurs conséquences peuvent être simulés. Cela permet d'expliquer ce que sont le volume mort et la réexpansion. En modifiant de manière ciblée les paramètres de processus, on a la possibilité de tester la réaction de l'installation.

Neuf paramètres de processus différents peuvent être ajustés par des potentiomètres sur l'unité de commande de l'appareil d'essai. Les paramètres de processus commandent le logiciel.

Parmi les paramètres de processus, on compte entre autres la cylindrée, le volume mort, la vitesse de rotation ou l'état d'aspiration de l'air.

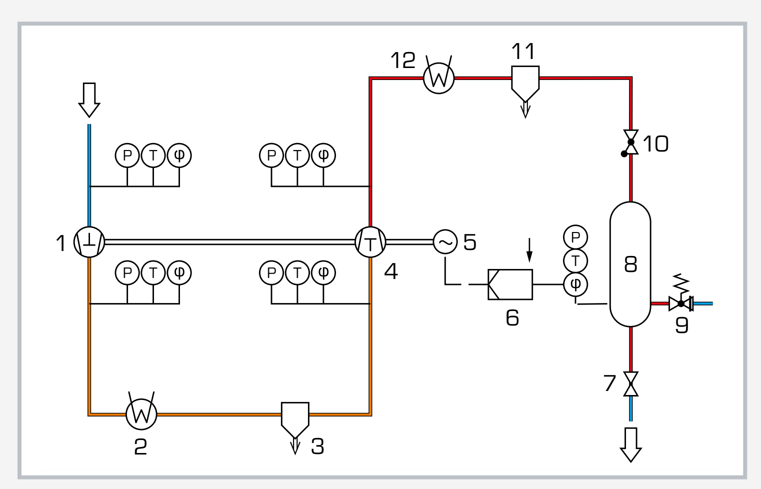
Le logiciel offre de nombreuses possibilités de représentation. Les conséquences de la modification des ajustages sur les potentiomètres peuvent être directement observées sur les représentations du logiciel. Il est par exemple possible de représenter le processus de compression dans le diagramme p,V. Les relations thermodynamiques peuvent être représentées dans le diagramme T,s. On peut comparer la compression à un étage à celle à plusieurs étages. La quantité d'air d'aspiration, la course du compresseur et le rapport de pression de chacun des étages, le transfert de chaleur convectif dans le cas d'une condensation, ainsi que le débit de refoulement de l'air sont calculés dans le logiciel.

L'appareil d'essai est raccordé par une connexion USB à un PC. L'alimentation électrique est établie via le PC.

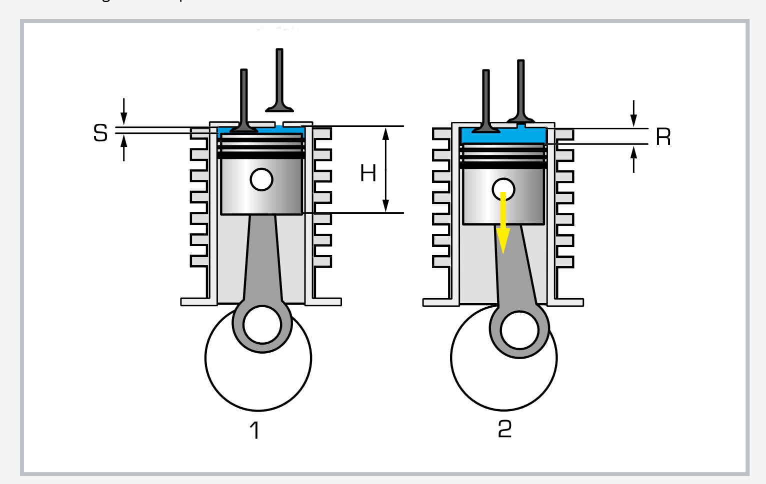
Contenu didactique/essais

- principes de base du processus de compression à plusieurs étages
- particularités d'un compresseur à plusieurs étages
- variables d'état thermodynamiques
- représentation du processus de compression dans le diagramme T,s et le diagramme p,V
- condensation dans le refroidisseur intermédiaire et le post-refroidisseur
- régulation de pression à deux points avec hystérésis

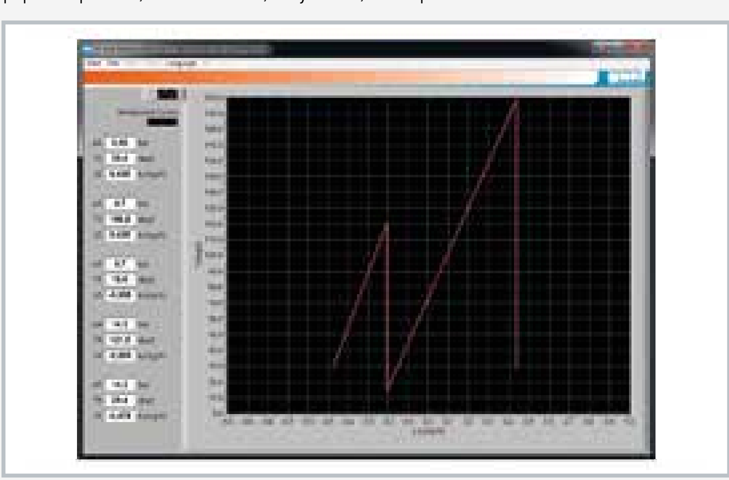
ET 508
Simulateur d'un compresseur bi-étagé



1 compresseur, 2 échangeur de chaleur pour le refroidissement intermédiaire, 3 séparateur, 4 compresseur, 5 moteur, 6 régulateur de pression, 7 soupape de détente, 8 réservoir sous pression, 9 soupape de sécurité, 10 soupape de retenue, 11 séparateur, 12 échangeur de chaleur pour le post-refroidissement;
P pression, T température, φ humidité; bleu: basse pression, orange: pression intermédiaire, rouge: haute pression



Principe de la réexpansion;
1 point mort supérieur: un résidu d'air reste dans le volume mort, 2 début du mouvement vers le bas: cet air se dilate jusqu'à la pression atmosphérique avant l'ouverture de la soupape d'aspiration; S volume mort, H cylindrée, R réexpansion



Capture d'écran du logiciel

Spécification

[1] simulation de fonctionnement d'une installation de compression à deux étages avec refroidissement intermédiaire et post-refroidissement
[2] modification de 9 paramètres du système par des potentiomètres
[3] le logiciel calcule: quantité d'air d'aspiration, températures, pressions, rapport de pression étages 1+2, transfert de chaleur convectif avec la condensation, quantité d'air fournie
[4] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

9 potentiomètres pour l'ajustage des valeurs suivantes
- pression d'aspiration: 0...2bar abs.
- température d'aspiration: 0...100°C
- humidité relative de l'air: 0...100%
- débit massique d'agent réfrigérant: 0...100kg/h à 15°C
- position de la soupape d'étranglement: 0...100%
- pression nominale du réservoir: 0...50bar
- vitesse de rotation du moteur: 0...1000min^{-1}
- volume du réservoir: 0...1000L
- volume mort relatif: 0...100%

Entrées et sorties
- 16x analogique in, 1x analogique out
- resp. 4x numérique in/out

Lxlxh: 600x350x480mm
Poids: env. 15kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 notice



ET 512
Installation de génération d'air comprimé avec compresseur à piston



Description

- **installation de génération d'air comprimé compacte**
- **compresseur à piston à un étage**
- **enregistrement de la caractéristique du compresseur**

Les installations de génération d'air comprimé sont utilisées pour produire de l'air comprimé qui servira de source d'énergie. Dans l'industrie minière ou chimique, partout où il existe un risque d'explosion de gaz inflammables, on utilise de l'air comprimé à la place de l'énergie électrique. Le compresseur constitue l'élément central de telles installations.

L'appareil d'essai ET 512 comprend tous les composants d'une installation de génération d'air comprimé: un compresseur à piston à un étage, entraîné par un moteur électrique via une courroie trapézoïdale, un réservoir d'air comprimé avec manomètre, un pressostat et une soupape de sécurité. Il est possible de raccorder le consommateur que l'on souhaite au réservoir d'air comprimé via un accouplement rapide.

L'ET 512 permet de poursuivre le contrôle de fonctionnement du compresseur à piston. Pendant le test fonctionnel, on enregistre la montée en pression dans le réservoir en fonction du temps pour mesurer la puissance de refoulement du compresseur.

Un wattmètre enregistre les données du moteur d'entraînement. La puissance active est indiquée sur un affichage numérique. Une minuterie est fournie pour permettre la réalisation de mesures en fonction du temps.

Contenu didactique/essais

- familiarisation avec une installation de génération d'air comprimé
- test fonctionnel sur un compresseur à piston à un étage
  - montée en pression dans un réservoir d'air comprimé en fonction du temps
  - puissance active du moteur d'entraînement en fonction de la pression

Spécification

[1] familiarisation avec une installation de génération d'air comprimé
[2] compresseur à piston à un étage
[3] réservoir sous pression avec manomètre, soupape de sécurité, soupape de drainage et raccordement de consommateurs
[4] affichage numérique de la tension, du courant, de la puissance active

Caractéristiques techniques

Compresseur à piston, 1 cylindre, à un étage
- pression de refoulement max.: 10bar
- capacité d'aspiration: 115L/min
- orifice: 50mm
- course: 32mm
- cylindrée: 63cm^3

Moteur d'entraînement
- puissance absorbée: 0,25kW
- vitesse de rotation: 1405min^{-1}

Réservoir sous pression
- contenance: 10L
- pression max.: 10bar

Plages de mesure
- puissance absorbée: 0...4kW
- manomètre: 0...16bar
- chronomètre: 1/100s

230V, 50Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
Lxlxh: 750x540x560mm
Poids: env. 38kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 documentation didactique



Des manuels de haute qualité

La politique d'enseignement de GUNT se définit ainsi: des appareils haut de gamme et de la documentation didactique clairement élaborée sont pour enseignants et apprenants une garantie de la réussite de toute formation sur un appareil d'essai.

Au cœur de cette documentation didactique vous trouverez des essais de référence que nous avons effectués. La description d'un essai contient le montage expérimental ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. Un groupe d'ingénieurs expérimentés développe et actualise la documentation didactique.

S'il advenait cependant que certaines questions soient restées sans réponse, nous sommes à votre entière disposition, au téléphone ou – en cas de besoin – sur place.

Connaissances de base

Moteurs à combustion interne

Les moteurs à combustion interne sont des machines à fluide thermiques: la combustion d'un mélange air-carburant produit de l'énergie mécanique. Tous les processus de travail ont lieu dans un espace de travail appelé cylindre de travail. Étant donné le fait que la force/l'énergie à l'intérieur du cylindre est transmise par un volume variable, les moteurs à combustion interne font partie des machines motrices volumétriques.

Les moteurs sont souvent utilisés pour entraîner des véhicules, bateaux ou locomotives. On utilise également les moteurs à combustion interne pour les entraînements qui doivent fonctionner de manière fiable en permanence, sans dépendre du réseau électrique; c'est le cas p.ex. pour les groupes électrogènes de secours, les machines de chantier ou dans l'agriculture.

Les petits moteurs monocylindres permettent bien d'expliquer les principes de base de la technique des moteurs. GUNT propose différents moteurs à combustion interne avec des puissances pouvant atteindre 75 kW et une cylindrée de 2 L max. Les moteurs incluent les moteurs diesel et essence quatre temps, les moteurs à essence avec des taux de compression variables, et les moteurs essence deux temps.

Comparaison des moteurs: essence deux temps, essence quatre temps et diesel quatre temps

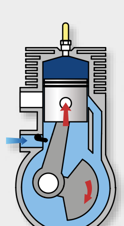
	Moteur essence 2 temps	Moteur essence 4 temps	Moteur diesel 4 temps
Chargement	mélange carburant-air	mélange carburant-air	air pur
Alimentation en carburant	carburateur	carburateur	pompe à injection
Allumage	étincelle d'allumage	étincelle d'allumage	compression
Taux de compression	5…8	5…12	14…21
Coefficient d'air	0,8…1,2	0,8…1,2	1,5…10
Carburant	essence	essence	diesel

Moteur deux temps: un cycle de travail = un tour de manivelle

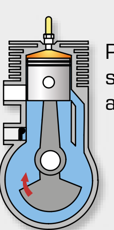
1er temps: compression / aspiration

Mouvement du piston vers le haut: du point mort inférieur au point mort supérieur

Processus au-dessus du piston: le mélange précomprimé est comprimé au-dessus du piston. Le mélange comprimé est allumé juste avant d'arriver au point mort supérieur.



Compression et aspiration



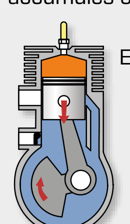
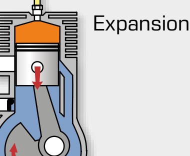
Point mort supérieur: allumage

Processus en dessous du piston: le canal de débordement est obturé par le mouvement du piston vers le haut. La dépression qui se forme entraîne l'ouverture de la soupape d'admission: le mélange air-carburant est aspiré.

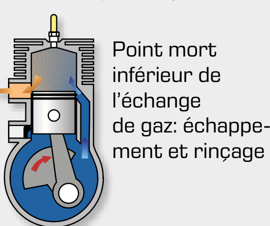
2e temps: travail / précompression

Mouvement du piston vers le haut: du point mort supérieur au point mort inférieur

Processus au-dessus du piston: la pression qui se forme a pour effet de pousser le piston vers le bas, et ouvre d'abord le canal de sortie, puis le canal de débordement. Le mélange précomprimé en dessous du piston refoule les gaz d'échappement qui se sont accumulés en direction de l'extérieur, et remplit le cylindre.

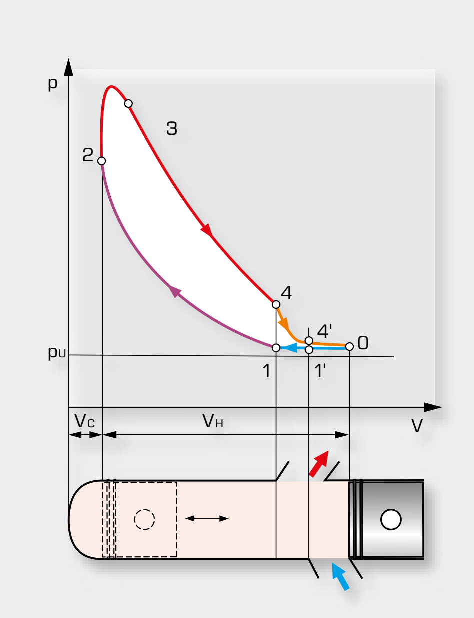
Expansion



Point mort inférieur de l'échange de gaz: échappement et rinçage

Processus en dessous du piston: le mélange aspiré est précomprimé par le mouvement arrière du piston, et poussé dans le canal de débordement. La surpression obture la soupape d'admission.

Diagramme d'indicateur d'un moteur deux temps

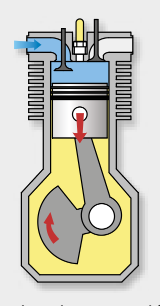


1er temps (0-1): chargement du cylindre avec du mélange air-carburant
(1-2): compression du mélange
(2-3): allumage et combustion du mélange
2e temps (3-4): expansion des gaz de combustion
4 : échappement ouvre, expansion finie
4': canal de débordement ouvre, rinçage commence
1': rinçage fini
1 : échappement ferme, et compression commence

aspiration, compression, travail, échappement;
p_U pression ambiante, **V** volume,
V_H cylindrée, V_c volume de compression

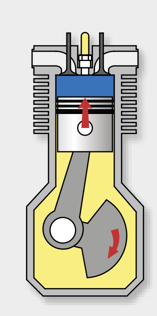
Moteur quatre temps: un cycle de travail = deux tours de manivelle

1er temps: aspiration



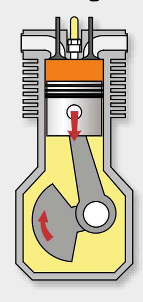
Le piston se déplace du point mort supérieur vers le point mort inférieur. Ce qui a pour effet d'aspirer le mélange air-carburant.

2e temps: compression



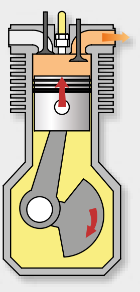
Le piston se déplace du point mort inférieur jusqu'au point mort supérieur. Ce qui a pour effet de comprimer le mélange air-carburant.

3e temps: travail – allumage et détente



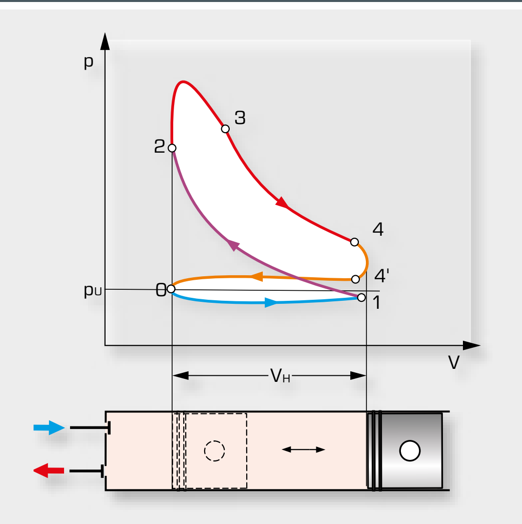
Le mélange comprimé air-carburant est allumé juste avant d'arriver au point mort supérieur. La pression qui se forme pousse le piston vers le bas.

4e temps: échappement



Le piston se déplace du point mort inférieur jusqu'au point mort supérieur. Ce qui expulse les gaz d'échappement.

Diagramme d'indicateur d'un moteur quatre temps



1er temps (0-1): aspiration
- du mélange air-carburant pour le moteur à essence
- de l'air pur pour le moteur diesel

2e temps (1-2): compression
- du mélange air-carburant pour le moteur à essence
- de l'air pour le moteur diesel à 700°C min

3e temps (2-3): allumage et combustion
- du mélange air-carburant pour le moteur à essence par des bougies d'allumage
- injection du gazole, allumage par la température élevée de l'air

(3-4): expansion des gaz de combustion
4e temps (4-4'): échappement des gaz de combustion
(4'-0): expulsion des gaz de combustion résiduels



Bancs d’essai pour moteurs à combustion interne

GUNT offre, sur la plage de puissance comprise entre **2,2kW et 75kW,** quatre bancs d’essai différents pour moteurs à combustion interne. Parmi les moteurs, on compte les moteurs diesel et essence quatre temps, les moteurs à essence avec des taux de compression variables, et les moteurs essence deux temps.

Les moteurs sont alimentés en air et en carburant par les bancs d’essai. Les gaz d’échappement peuvent être étudiés avec un appareil d’analyse de gaz d’échappement.

Le **système d’indication électronique** permet d’appréhender de manière approfondie la façon dont fonctionne un moteur. Des capteurs de pression spéciaux enregistrent la pression dans la chambre de cylindre. Ces données fournissent des informations importantes sur le processus de combustion du moteur. Dans l’industrie, des systèmes d’indication sont utilisés pour l’optimisation du processus de combustion. Le **diagramme d’indicateur** est établi à partir des données.

On distingue les différents temps grâce au système d’indication. Le processus **d’allumage,** ou le **retard à l’allumage,** ainsi que **l’échange de gaz** peuvent être étudiés. On peut simuler un remorquage sans allumage, pendant que l’on étudie les processus se déroulant dans la chambre interne de cylindre. Les **comportements de marche à vide** des moteurs diesel, ou de ceux à essence, peuvent être comparés les uns aux autres. Le système d’indication permet d’obtenir une analyse thermodynamique du moteur.

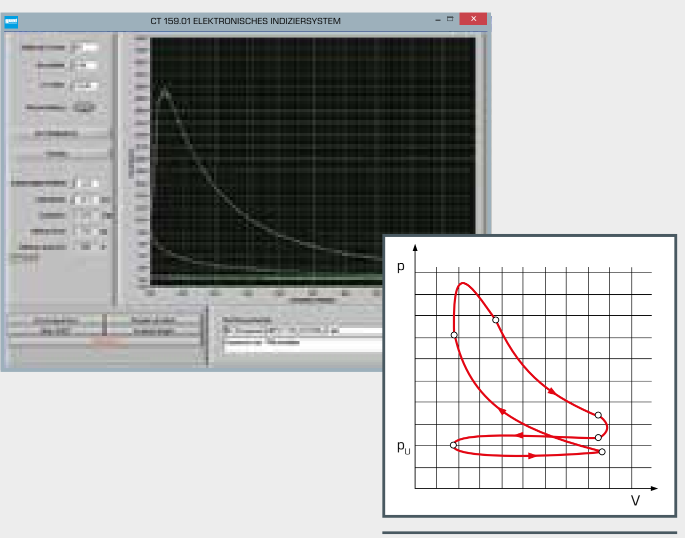


Diagramme d’indicateur d’un moteur à quatre temps



Logiciel GUNT moderne sous Windows avec fonctions de visualisation très complètes:

- schémas de processus pour tous les moteurs avec affichage en temps réel de toutes les grandeurs mesurées et calculées
- possibilité d’afficher jusqu’à quatre caractéristiques en même temps
- représentation des caractéristiques: affectation au choix des axes du diagramme
- enregistrement des données de mesure
- quatre langues au choix
- raccord facile au PC par connexion USB
- grandeurs calculées
  - consommation spécifique de carburant
  - débit volumétrique d’air d’aspiration
  - puissance mécanique
  - rendement
  - rendement volumétrique
  - coefficient d’air **λ**

CT 159 Banc d’essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2kW



CT 110
Banc d’essai pour moteurs monocylindres, 7,5kW



CT 300
Banc d’essai pour moteurs, 11kW



CT 400
Unité de charge, 75kW, pour moteurs quatre cylindres



2,2kW — 7,5kW — 11kW — 75kW



CT 159 Banc d’essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2 kW

La série CT 159 propose quatre moteurs à combustion interne différents sur une plage de puissance de 2,2 kW max.: un moteur diesel à quatre temps et un moteur à essence, un moteur à essence avec taux de compression ajustable, ainsi qu’un moteur essence deux temps. Les moteurs sont alimentés en air et en carburant par le banc d’essai modulaire CT 159. Les gaz d’échappement sont évacués vers l’extérieur par l’intermédiaire de flexibles.

Les moteurs sont reliés par une courroie trapézoïdale au dispositif de freinage et d’entraînement universel HM 365. Le HM 365 est utilisé dans un premier temps pour démarrer les moteurs. Pendant que les moteurs tournent, le HM 365 travaille en mode générateur, et freine ainsi les moteurs. Les moteurs peuvent être étudiés en pleine charge et en charge partielle. La charge et la vitesse de rotation variables permettent de déterminer la cartographie du moteur. On peut aussi étudier l’action combinée du frein et du moteur.



HM 365 Dispositif de freinage et d’entraînement universel

CT 159 Banc d’essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2 kW

HM 365 + CT 159 + moteur d’essai (CT 150 à CT 153) avec acquisition de données sur un PC

- caractéristique en pleine charge et en charge partielle
- détermination des pertes par frottement dans le moteur
- comparaison entre le moteur diesel et le moteur essence
- comparaison entre le moteur deux temps et le moteur quatre temps
- moteur essence quatre temps avec compression variable

CT 150 Moteur essence quatre temps

Moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air avec formation externe du mélange



CT 151 Moteur diesel quatre temps

Moteur diesel quatre temps monocylindre refroidi par air avec injection directe



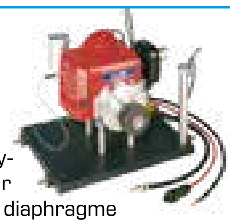
CT 152 Moteur essence quatre temps à compression variable

Moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air:

- taux de compression variables, ajustables par la modification de la géométrie de la chambre de chauffe
- réglage d’allumage et gicleur d’alimentation réglable

CT 153 Moteur essence deux temps

Moteur essence deux temps monocylindre refroidi par air avec carburateur à diaphragme



Élargissement du spectre des essais

par

indication électronique, y compris logiciel pour l’acquisition de données sur PC avec le CT 159.01 + capteur de pression spécifique au moteur avec transmetteur de PMH (CT 159.03 à CT 159.05)

et/ou

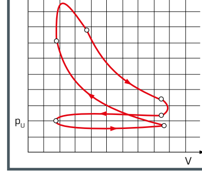
analyse de gaz d’échappement avec le CT 159.02

CT 159.03 Capteur de pression et transmetteur de PMH

CT 159.04 Capteur de pression et transmetteur de PMH

CT 159.03 Capteur de pression et transmetteur de PMH

CT 159.05 Capteur de pression et transmetteur de PMH



CT 159.01 Système d’indication électronique pour CT 159

Mesures de pression dans la chambre de cylindre d’un moteur à combustion interne

- diagramme p,V
- diagramme p,t
- évolution de la pression en cas d’échange de gaz
- détermination de la puissance indiquée
- détermination du rendement mécanique

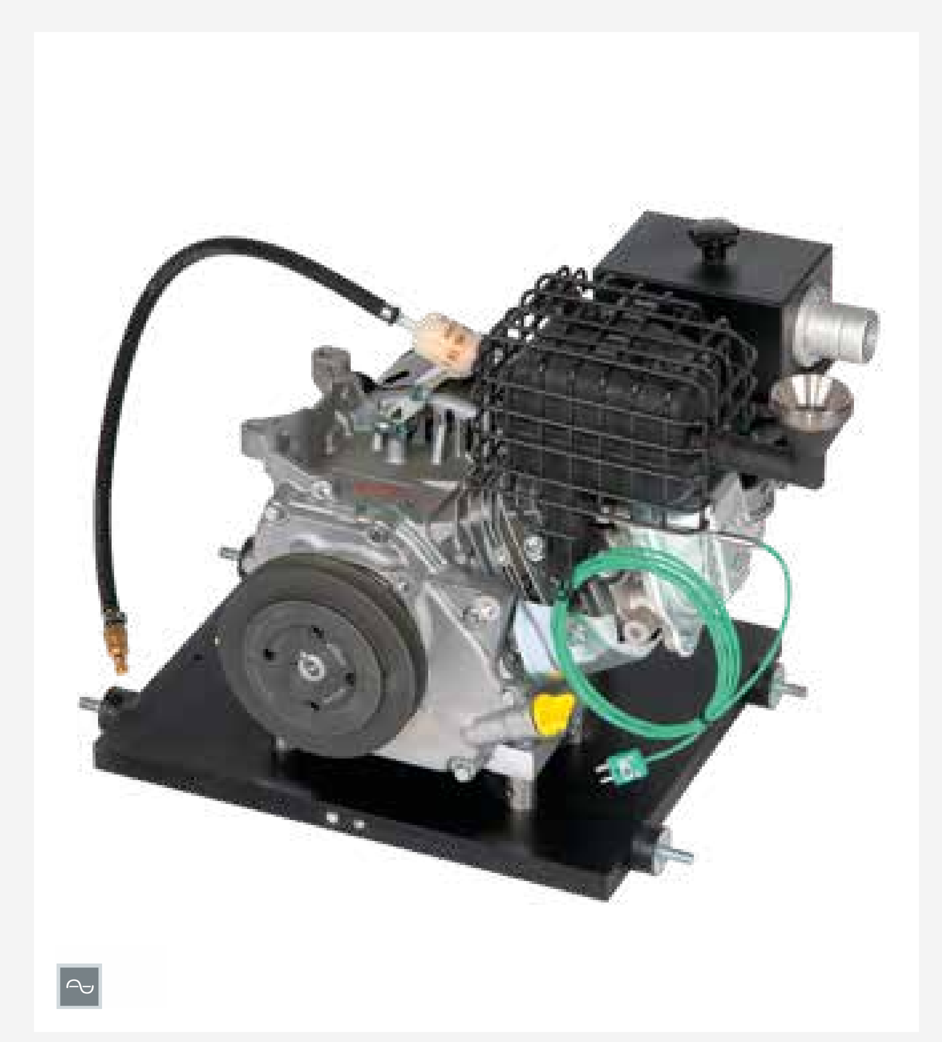


CT 159.02 Analyseur de gaz d’échappement

Mesure de la composition des gaz d’échappement (CO, CO_2, HC, O_2), du coefficient d’air λ et de la température de l’huile du moteur.

CT 150

Moteur essence quatre temps pour CT 159



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai CT 159 + unité de charge HM 365
  - faire connaissance avec un moteur essence quatre temps
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - détermination de la perte par frottement du moteur

Spécification

[1] moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 159
[2] moteur monté sur fondation isolée des vibrations
[3] transmission de force au frein via la poulie
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyaux de carburant avec accouplements rapides à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

Moteur essence monocylindre refroidi par air

- puissance débitée: 2,2kW à 3200min^{-1}
- alésage: 62mm
- course: 42mm

Poulie: Ø 125mm

Lxlxh: 450x360x380mm
Poids: env. 22kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

Description

- **moteur pour le montage dans le banc d'essai CT 159**
- **élément de la série GUNT-FEM-Line**

En combinaison avec le banc d'essai CT 159 et le dispositif de freinage et d'entraînement HM 365, le moteur essence quatre temps simple convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

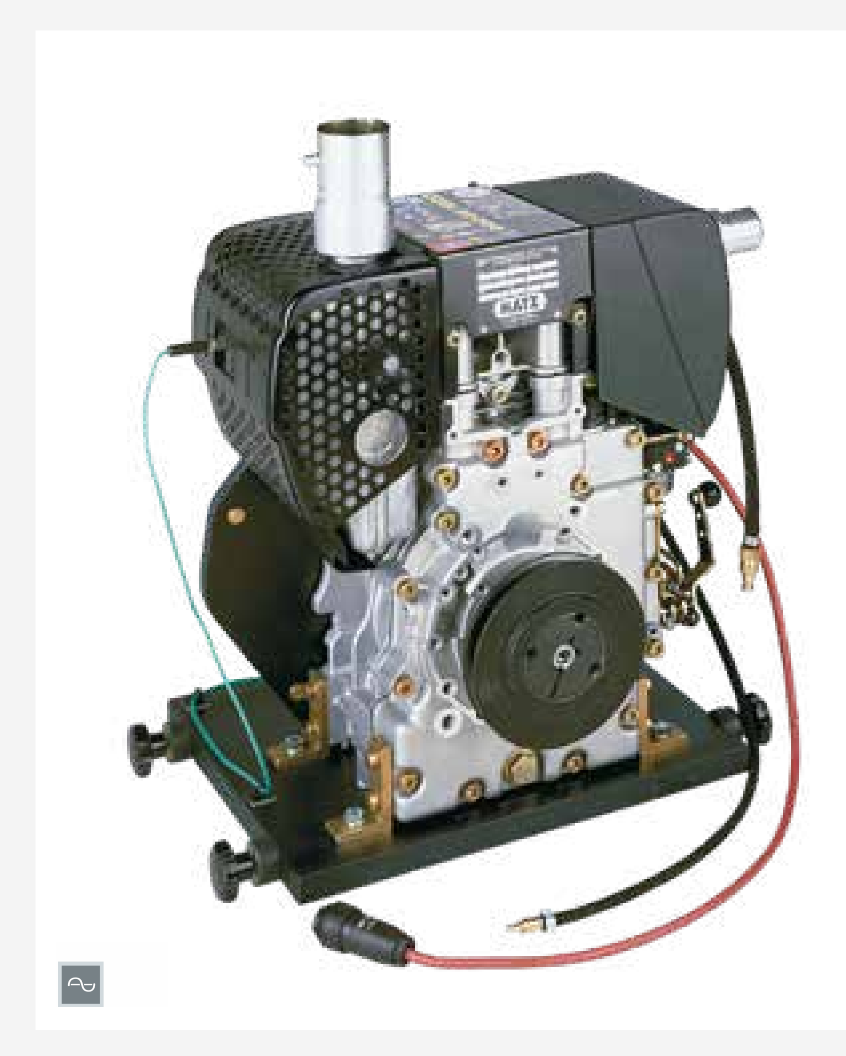
Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air avec formation externe du mélange. Le moteur est démarré à l'aide d'un moteur électrique placé dans le HM 365.

Le refroidissement par air s'effectue à l'aide d'aubes placées sur le volant moteur. Une poulie située sur l'arbre de sortie permet d'accoupler l'unité de charge HM 365. Le moteur renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement. Le capteur, le rupteur d'allumage et l'alimentation en air et carburant sont raccordés au banc d'essai CT 159.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

CT 151

Moteur diesel quatre temps pour CT 159



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai CT 159 + unité de charge HM 365
  - faire connaissance avec un moteur diesel quatre temps
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - détermination de la perte par frottement du moteur

Spécification

[1] moteur diesel monocylindre refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 159
[2] moteur monté sur fondation isolée des vibrations
[3] transmission de force au frein via la poulie
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyaux de carburant avec accouplements rapides à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

Moteur diesel à injection directe monocylindre refroidi par air

- puissance débitée: 2,2kW à 3000min^{-1}
- alésage: 69mm
- course: 62mm

Poulie: Ø 125mm

Lxlxh: 430x350x350mm
Poids: env. 38kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

Description

- **moteur pour le montage dans le banc d'essai CT 159**
- **élément de la série GUNT-FEM-Line**

En combinaison avec le banc d'essai CT 159 et le dispositif de freinage et d'entraînement HM 365, le moteur diesel quatre temps convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur diesel quatre temps à injection directe monocylindre refroidi par air. Le moteur est démarré à l'aide d'un moteur électrique placé dans le HM 365. Le refroidissement par air s'effectue à l'aide d'aubes placées sur le volant moteur. Une poulie située sur l'arbre de sortie permet d'accoupler l'unité de charge HM 365.

Le moteur renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement. Le capteur, le rupteur d'allumage et l'alimentation en air et carburant sont raccordés au banc d'essai CT 159.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

CT 152

Moteur essence quatre temps à compression variable pour CT 159



Description

■ **moteur pour le montage dans le banc d'essai CT 159**
■ **élément de la série GUNT-FEM-Line**

En combinaison avec le banc d'essai CT 159 et le dispositif de freinage et d'entraînement HM 365, le moteur convient parfaitement à l'étude de différents taux de compression, du déplacement du point d'allumage et d'un injecteur de carburant réglable.

Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air avec formation externe du mélange. Une culasse modifiée permet d'effectuer des essais avec différents inserts de chambre de combustion et taux de compression. Afin de pouvoir régler la composition du mélange, le carburateur a été transformé.

Le CT 152 est équipé d'un réglage manuel pour déplacer le point d'allumage: de l'allumage avancé à l'allumage retardé.

Le moteur renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement. Le capteur, le rupteur d'allumage et l'alimentation en air et carburant sont raccordés au banc d'essai CT 159.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

■ en combinaison avec le banc d'essai CT 159 + unité de charge HM 365, en supplément aux essais fondamentaux de la série
  ▸ influence du taux de compression, de la composition du mélange, du point d'allumage sur les courbes caractéristiques du moteur et la température des gaz d'échappement

Spécification

[1] moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 159
[2] 5 taux de compression variables, réglables en modifiant la géométrie de la chambre de combustion
[3] point d'allumage réglable
[4] composition du mélange influençable
[5] moteur monté sur fondation isolée des vibrations
[6] transmission de force au frein via la poulie
[7] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[8] tuyaux de carburant avec accouplements rapides à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

Moteur essence monocylindre refroidi par air
■ puissance débitée: 1,2kW à 2500min^{-1}
■ alésage: 65,1mm
■ course: 44,4mm
■ taux de compression: 1:10; 1:8,5; 1:7 (compression d'origine), 1:5,5; 1:4
■ point d'allumage réglable en 11 niveaux: 10° après PMH à 40° avant PMH

Poulie: Ø 125mm

Lxlxh: 350x420x500mm
Poids: env. 21kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
5 inserts de chambre de combustion
1 clé à ergots
1 notice

CT 153

Moteur essence deux temps pour CT 159



Description

■ **moteur pour le montage dans le banc d'essai CT 159**
■ **élément de la série GUNT-FEM-Line**

En combinaison avec le banc d'essai CT 159 et le dispositif de freinage et d'entraînement HM 365, le moteur essence deux temps simple convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur essence deux temps monocylindre refroidi par air avec carburateur de diaphragme.

Le moteur est démarré à l'aide d'un moteur électrique placé dans le HM 365. Le refroidissement par air s'effectue à l'aide d'aubes placées sur le volant moteur. Une poulie située sur l'arbre de sortie permet d'accoupler l'unité de charge HM 365. Étant donné les vitesses de rotation élevées, le moteur a été doté d'une poulie plus petite que les autres moteurs de la série.

Le moteur renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement. Le capteur, le rupteur d'allumage et l'alimentation en air et carburant sont raccordés au banc d'essai CT 159.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

■ en combinaison avec le banc d'essai CT 159 + unité de charge HM 365
  ▸ faire connaissance avec un moteur essence deux temps
  ▸ enregistrement des courbes de couple et de puissance
  ▸ détermination de la consommation de carburant spécifique
  ▸ détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ

Spécification

[1] moteur monocylindre deux temps refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 159
[2] moteur monté sur fondation isolée des vibrations
[3] transmission de force au frein via la poulie, rapport de transmisson 2:1
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyaux de carburant avec accouplements rapides à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

Moteur monocylindre deux temps refroidi par air
■ puissance débitée: 1,32kW à 6500min^{-1}
■ cylindrée: 45cm^3
■ alésage: 42,5mm
■ course: 32mm
Poulie: Ø 63mm

Lxlxh: 430x355x310mm
Poids: env. 8kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

CT 159

Banc d'essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2kW



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec l'unité de charge HM 365 et un moteur (CT 150 à CT 153)
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air
  - détermination de la perte par frottement du moteur (en mode entraîné)

Description

- **configuration d'un banc d'essai complet avec le dispositif de freinage et d'entraînement universel HM 365 et un moteur**
- **banc d'essai pour moteurs monocylindres à combustion interne jusqu'à 2,2kW**
- **dispositif de freinage et d'entraînement HM 365 comme unité de charge, utilisable également comme démarreur**
- **élément de la série GUNT-FEM-Line**

Ce banc d'essai permet de mesurer la puissance des moteurs à combustion interne jusqu'à une puissance de 2,2kW. Le banc d'essai complet se compose de trois éléments principaux: CT 159 pour recevoir le moteur et comme dispositif de commande, le dispositif de freinage et d'entraînement universel HM 365 comme unité de charge, ainsi qu'un moteur au choix: moteur diesel quatre temps (CT 151), moteur essence deux temps (CT 153), ainsi que deux moteurs essence quatre temps (CT 150 ou CT 152, moteur à compression variable).

La fonction principale du CT 159 consiste à recevoir le moteur, à assurer son alimentation en carburant et en air, ainsi qu'à saisir et à afficher les données de mesure pertinentes. Le moteur est monté sur une fondation isolée des vibrations, et raccordé au HM 365 via une poulie.

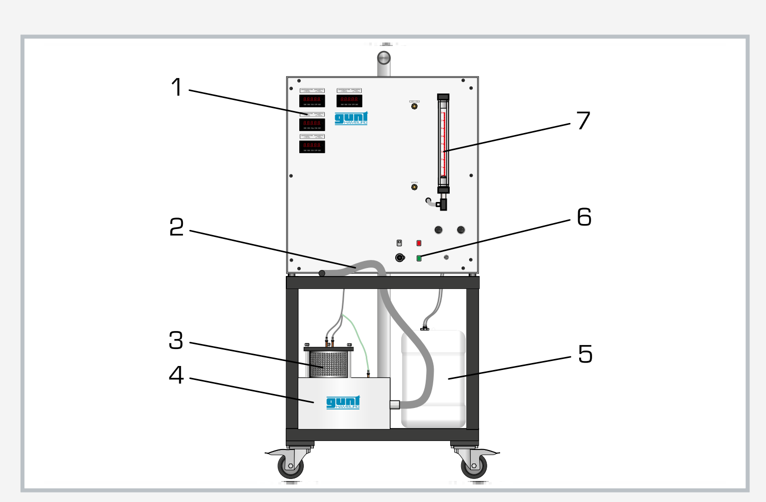
Le HM 365 est utilisé dans un premier temps pour démarrer le moteur. Dès que le moteur fonctionne, le HM 365 sert de frein pour charger le moteur à combustion interne.

Les réservoirs de carburant et un réservoir de stabilisation pour l'air d'admission se trouvent dans la partie inférieure du châssis mobile.

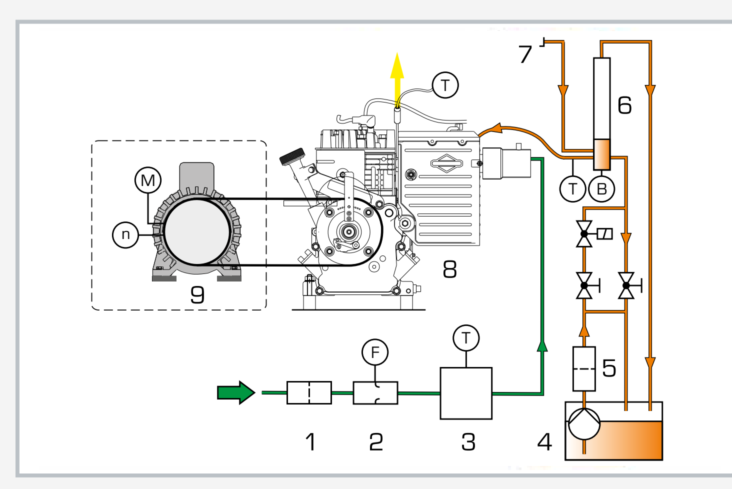
L'armoire de commande avec amortissement des vibrations contient les affichages numériques pour les températures (un écran pour les gaz d'échappement, un pour le carburant et un pour l'air d'admission) et pour la consommation d'air. La vitesse de rotation et le couple sont réglés et affichés sur le HM 365. Tous les signaux de mesure sont disponibles sous forme électrique et, avec le HM 365, peuvent être transmis à un PC sur lequel ils sont mémorisés et traités à l'aide du logiciel d'acquisition de données. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

CT 159

Banc d'essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2kW



1 éléments d'affichage, 2 flexible à air, 3 filtre à air, 4 réservoir de stabilisation, 5 réservoir de carburant avec pompe, 6 raccords et organes de commande, 7 tube gradué pour consommation de carburant



1 filtre à air, 2 orifice de mesure, 3 réservoir de stabilisation, 4 réservoir de carburant avec pompe, 5 filtre à carburant, 6 tube gradué pour consommation de carburant, 7 diesel retour, 8 moteur (CT 150 à CT 153), 9 HM 365; B consommation de carburant, T température, F débit volumétrique, n vitesse de rotation, M couple, orange: carburant, vert: air d'admission, jaune: gaz d'échappement



Montage expérimental complet avec le HM 365, le CT 159 et le CT 151

Spécification

[1] banc d'essai pour recevoir les moteurs monocylindres préparés (deux temps et quatre temps) avec une puissance maximale de 2,2kW
[2] démarrage du moteur via le HM 365
[3] le HM 365 comme frein génère la charge du moteur
[4] transmission de force du moteur à l'unité de charge via un entraînement à courroie trapézoïdale
[5] ajustage en continu de la vitesse de rotation et du couple via le HM 365
[6] armoire de commande avec amortissement des vibrations pour l'affichage et la commande
[7] tube gradué et capteur de pression pour la mesure manuelle et électronique de la consommation de carburant
[8] mesure et affichage de la consommation d'air, de la température ambiante et de la température du carburant
[9] affichage des valeurs de mesure du moteur pour la température des gaz d'échappement
[10] réservoir de stabilisation pour l'air d'admission
[11] 3 réservoirs de réserve pour différents carburants
[12] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

3 réservoirs de carburant: de 5L chacun

Plages de mesure
- température:
  - 0...100°C (ambiante)
  - 0...100°C (carburant)
  - 0...1000°C (gaz d'échappement)
- consommation d'air: 30...333L/min
- consommation de carburant: 0...50cm^3/min

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 900x900x1900mm
Poids: env. 135kg

Nécessaire pour le fonctionnement

évacuation des gaz d'échappement, ventilation
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai (sans moteur ni unité de charge)
1 jeu d'outils
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

CT 110
Banc d'essai pour moteurs monocylindres, 7,5 kW

Le banc d'essai CT 110 permet un vaste programme d'essais sur petits moteurs à combustion interne dans la plage de puissance jusqu'à 7,5 kW. La sélection est possible entre quatre différents moteurs pouvant être utilisés au choix sur la plaque de montage du banc d'essai. Le montage d'un moteur est possible en l'espace de quelques minutes.

La charge des moteurs est effectuée par un moteur asynchrone refroidi par air, et commandé par un convertisseur de fréquences.

Les moteurs peuvent être étudiés en pleine charge ou en charge partielle. La cartographie du moteur est recherchée avec une charge et un régime variables. Il est également possible d'étudier l'action commune du frein et du moteur.

Le banc d'essai convient bien à la démonstration et également aux essais autonomes effectués par les étudiants. Le puissant logiciel supporte le processus d'apprentissage d'excellente manière. La documentation didactique bien structurée expose les principes de base, et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

Le banc d'essai peut être utilisé dans des salles de laboratoire standard. Le moteur et le moteur asynchrone sont montés sur un châssis commun avec isolation anti-vibratile. Un amortissement des bruits d'admission réduit la formation de bruits. Les gaz d'échappement sont amenés à l'extérieur par un flexible.

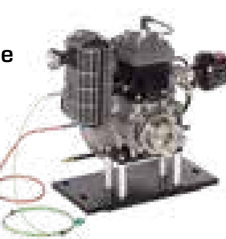
CT 110 Banc d'essai pour moteurs monocylindres, 7,5 kW

CT 110 + moteur d'essai (CT 100.20 à CT 100.23) avec acquisition de données sur un PC

- courbes en pleine charge et en charge partielle
- détermination des pertes par frottement dans le moteur
- comparaison du moteur essence et du moteur diesel
- comparaison du moteur deux temps et du moteur quatre temps

CT 100.20
Moteur essence quatre temps
Moteur essence quatre temps à allumage commandé, refroidi par air et équipé d'un carburateur

CT 100.21
Moteur essence deux temps
Moteur essence deux temps refroidi par air avec rinçage à contre-courant





CT 100.22
Moteur diesel quatre temps
Moteur diesel quatre temps refroidi par air à injection directe

CT 100.23 Moteur diesel quatre temps, refroidi par eau
Moteur diesel quatre temps refroidi par eau selon le principe de chambre de tourbillonnement

Élargissement du spectre des essais

par

indication électronique, y compris logiciel pour l'acquisition de données avec CT 100.13 + capteur de pression spécifique au moteur (CT 100.14 à CT 100.17)

et/ou

analyse des gaz d'échappement avec CT 159.02

et/ou

calorimètre pour gaz d'échappement avec CT 100.11

CT 100.14
Capteur de pression

CT 100.17
Capteur de pression

CT 100.16
Capteur de pression

CT 100.15
Capteur de pression

CT 100.13
Système d'indication électronique
Mesures de pression dans la chambre de cylindre d'un moteur à combustion interne
- diagramme p,V
- diagramme p,t
- évolution de la pression en cas d'échange de gaz
- détermination de la puissance indiquée
- détermination du rendement mécanique

Les transmetteurs de PMH pour tous les modèles sont inclus dans la livraison.

CT 159.02
Analyseur de gaz d'échappement
Mesure de la composition des gaz d'échappement (CO, CO_2, HC, O_2), du coefficient d'air λ et de la température de l'huile du moteur.



CT 100.11
Calorimètre pour gaz d'échappement
Échangeur thermique à contre-courant pour l'analyse calorimétrique des gaz d'échappement de moteurs à combustion interne



CT 100.20
Moteur essence quatre temps pour CT 110



Description

■ **moteur pour utilisation sur le banc d'essai CT 110**

En combinaison avec le banc d'essai CT 110, qui renferme une unité de freinage et d'entraînement, le moteur essence quatre temps convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé, en l'occurrence, est un moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air avec formation externe du mélange. Le moteur est démarré et freiné à l'aide d'un moteur électrique placé dans le CT 110. Le refroidissement par air s'effectue à l'aide d'un ventilateur volant. Un accouplement à griffes élastique permet de raccorder l'unité de freinage.

Le moteur est préparé pour la mesure de la pression de cylindre pour l'indication. Il renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement, et une connexion pour mesurer la pression d'admission. Les deux capteurs, le rupteur d'allumage et l'alimentation en carburant sont raccordés au banc d'essai CT 110.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai CT 110
  - faire connaissance avec un moteur essence quatre temps
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - détermination de la perte par frottement du moteur

Spécification

[1] moteur essence quatre temps monocylindre refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 110
[2] moteur monté sur plaque de montage
[3] transmission de force au frein via l'accouplement à griffes élastique
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyau de carburant avec accouplement rapide à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

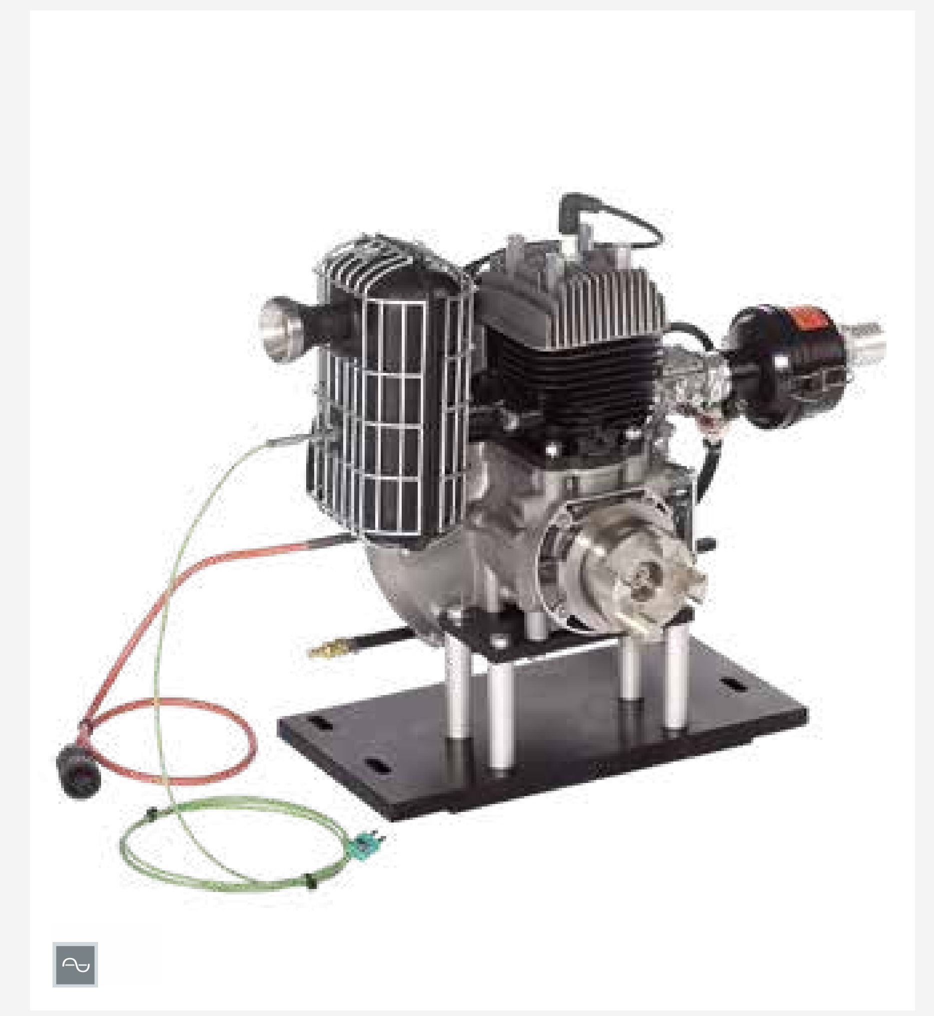
Moteur essence monocylindre refroidi par air
- puissance débitée: 7,5kW à 3000min^{-1}
- alésage: 87,3mm
- course: 66,7mm

Lxlxh: 600x480x630mm
Poids: env. 36kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

CT 100.21
Moteur essence deux temps pour CT 110



Description

■ **moteur pour utilisation sur le banc d'essai CT 110**

En combinaison avec le banc d'essai CT 110, qui renferme une unité de freinage et d'entraînement, le moteur essence deux temps convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé, en l'occurrence, est un moteur essence deux temps monocylindre refroidi par air avec rinçage à contre-courant. Le moteur est démarré et freiné à l'aide d'un moteur électrique placé dans le CT 110. Le refroidissement par air s'effectue à l'aide d'un ventilateur volant. Un accouplement à griffes élastique permet de raccorder l'unité de freinage.

Le moteur est préparé pour la mesure de la pression de cylindre pour l'indication. Il renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement, et une connexion pour mesurer la pression d'admission. Les deux capteurs, le rupteur d'allumage et l'alimentation en carburant sont raccordés au banc d'essai CT 110.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai CT 110
  - faire connaissance avec un moteur essence deux temps
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ

Spécification

[1] moteur monocylindre deux temps refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 110
[2] moteur monté sur plaque de montage
[3] transmission de force au frein via l'accouplement à griffes élastique
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyau de carburant avec accouplement rapide à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

Moteur monocylindre deux temps refroidi par air avec rinçage à contre-courant
- puissance débitée: 4,9kW à 4500min^{-1}
- taux de compression: 7,1:1
- alésage: 61mm
- course: 54mm

Lxlxh: 570x350x470mm
Poids: env. 20kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

CT 100.22

Moteur diesel quatre temps pour CT 110



Description

■ **moteur pour utilisation sur le banc d'essai CT 110**

En combinaison avec le banc d'essai CT 110, qui renferme une unité de freinage et d'entraînement, le moteur diesel quatre temps convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé, en l'occurrence, est un moteur diesel quatre temps monocylindre à injection directe refroidi par air. Le moteur diesel est démarré et freiné à l'aide d'un moteur électrique placé dans le CT 110. Le refroidissement par air s'effectue à l'aide d'un ventilateur volant. Un accouplement à griffes élastique permet de raccorder l'unité de freinage.

Le moteur est préparé pour la mesure de la pression de cylindre pour l'indication. Il renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement, et une connexion pour mesurer la pression d'admission. Les deux capteurs, le rupteur d'allumage et l'alimentation en carburant sont raccordés au banc d'essai CT 110.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai CT 110
  - faire connaissance avec un moteur diesel quatre temps
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - détermination de la perte par frottement du moteur

Spécification

[1] moteur diesel monocylindre refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 110
[2] moteur monté sur plaque de montage
[3] transmission de force au frein via l'accouplement à griffes élastique
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyau de carburant avec accouplement rapide à fermeture autonome
[6] moteur aussi disponible comme moteur biodiesel CT 100.24

Caractéristiques techniques

Moteur diesel monocylindre à injection directe refroidi par air

- puissance débitée: 4,5kW à 2700min^{-1}
- taux de compression: 22:1
- alésage: 80mm
- course: 69mm

Lxlxh: 470x400x480mm
Poids: env. 43kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

CT 100.23

Moteur diesel quatre temps, refroidi par eau, pour CT 110



Description

■ **moteur pour utilisation sur le banc d'essai CT 110**

En combinaison avec le banc d'essai CT 110, qui renferme une unité de freinage et d'entraînement, le moteur diesel quatre temps convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé, en l'occurrence, est un moteur diesel quatre temps monocylindre à injection indirecte refroidi par eau. Le moteur est démarré et freiné à l'aide d'un moteur électrique placé dans le CT 110. Le circuit d'eau de refroidissement comprend une pompe de circulation, un débitmètre et deux capteurs de température. Un accouplement à griffes élastique permet de raccorder l'unité de freinage.

Le moteur est préparé pour la mesure de la pression de cylindre pour l'indication. Il renferme un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement, et une connexion pour mesurer la pression d'admission. Les deux capteurs, le rupteur d'allumage et l'alimentation en carburant sont raccordés au banc d'essai CT 110.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le banc d'essai CT 110
  - faire connaissance avec un moteur diesel quatre temps refroidi par eau
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - détermination de la perte par frottement du moteur
  - détermination de la quantité de chaleur distribuée par le moteur

Spécification

[1] moteur diesel monocylindre refroidi par eau avec chambre de tourbillonnement pour le montage dans le banc d'essai CT 110
[2] moteur monté sur plaque de montage
[3] transmission de force au frein via l'accouplement à griffes élastique
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] circuit d'eau de refroidissement avec pompe, capteurs de température et débitmètre
[6] tuyau de carburant avec accouplement rapide à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

Moteur diesel monocylindre à injection indirecte

- alésage: 75mm, course: 70mm
- puissance débitée: 5,1kW à 3000min^{-1}

Circuit d'eau de refroidissement:

- capacité: 2,5L
- pompe: max. 640L/h

Plages de mesure

- température: 2x 0...100°C
- débit: 30...300L/h

Lxlxh: 600x420x600mm
Poids: env. 50kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

CT 110
Banc d'essai pour moteurs monocylindres, 7,5kW



L'illustration montre le CT 110 avec le moteur CT 100.20 et le système d'indication électronique CT 100.13 (sur le support).

Contenu didactique/essais

- en combinaison avec un moteur (CT 100.20 à CT 100.23)
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air
  - détermination de la perte par frottement du moteur (en mode entraîné)

Description

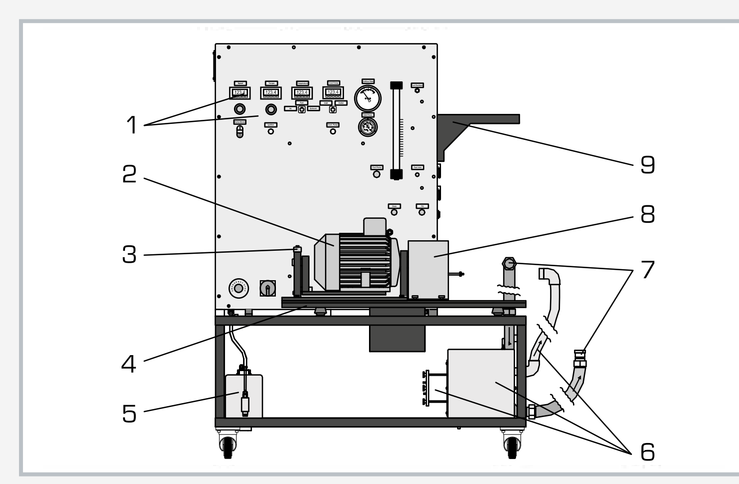
- **unité de commande et de charge pour moteurs monocylindres à combustion interne jusqu'à 7,5kW**
- **moteur asynchrone comme unité de charge, utilisable également comme démarreur**
- **fondation isolée des vibrations pour recevoir le moteur**

Ce banc d'essai permet de mesurer la puissance des moteurs à combustion interne jusqu'à une puissance de 7,5kW. Le banc d'essai complet se compose de deux éléments principaux: CT 110 comme unité de commande et de charge, et un moteur au choix: moteur essence quatre temps (CT 100.20), moteur essence deux temps (CT 100.21), ainsi que deux moteurs diesel quatre temps (CT 100.22, à injection directe, refroidi par air; CT 100.23, à injection indirecte, refroidi par eau).
La fonction principale du CT 110 est la mise à disposition de la puissance de freinage nécessaire. Un moteur asynchrone refroidi par air, avec unité de récupération d'énergie, sert d'ensemble de freinage. Le couple et la vitesse de rotation sont créés via un convertisseur de fréquence. Grâce à la récupération de l'énergie de freinage dans le réseau, on obtient un fonctionnement énergétique à haut rendement du banc d'essai. La mesure du couple s'effectue à l'aide de l'ensemble de freinage, monté de manière flottante, et du capteur de force.

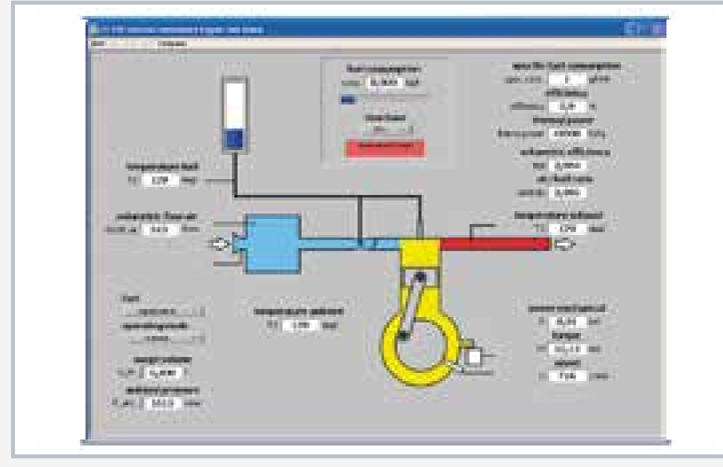
Le moteur est monté sur une fondation isolée des vibrations et raccordé au moteur asynchrone. La masse élevée de la fondation, en combinaison avec le palier souple, garantit un fonctionnement particulièrement régulier. Le moteur asynchrone est utilisé dans un premier temps pour démarrer le moteur. Dès que le moteur fonctionne, le moteur asynchrone avec l'unité de récupération d'énergie sert d'unité de freinage pour charger le moteur à combustion interne. La puissance de freinage est alors réalimentée dans le réseau électrique. En mode entraîné du moteur examiné, le moteur asynchrone est utilisé pour déterminer la perte par frottement du moteur.

Les réservoirs de carburant et un réservoir de stabilisation pour l'air d'admission se trouvent dans la partie inférieure du châssis mobile. La mesure de la consommation d'air s'effectue via une tuyère de mesure. La consommation de carburant est mesurée via le niveau dans un tube vertical. Le coffret de commande contient des affichages numériques pour la vitesse de rotation, le couple et les températures. Les manomètres indiquent la dépression d'admission et la consommation d'air. Tous les signaux de mesure sont disponibles sous forme électrique, et peuvent être mémorisés et traités à l'aide du logiciel d'acquisition de données fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

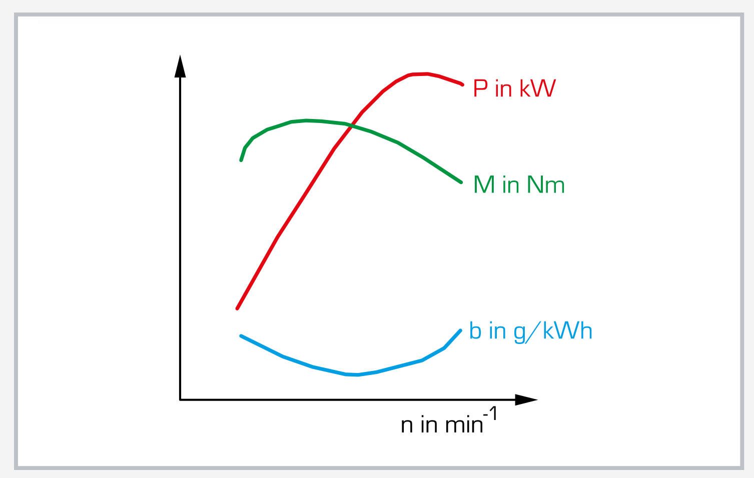
CT 110
Banc d'essai pour moteurs monocylindres, 7,5kW



1 éléments d'affichage et de commande, 2 moteur asynchrone, 3 capteur de force (couple), 4 fondation, 5 réservoir de carburant avec pompe, 6 réservoir de stabilisation avec filtre et flexible à air, 7 raccord des gaz d'échappement, 8 protection de l'accouplement, 9 support, p.ex. pour CT 100.13



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus



Courbes caractéristiques du moteur essence quatre temps:
n vitesse de rotation, M couple, P puissance, b consommation de carburant spécifique

Spécification

[1] unité de commande et de charge pour moteurs monocylindres préparés (deux temps et quatre temps) avec une puissance maximale de 7,5kW
[2] le moteur asynchrone, avec unité de récupération d'énergie comme frein, génère la charge du moteur
[3] démarrage du moteur et essais en mode entraîné par moteur asynchrone
[4] transmission de force du moteur au frein via l'accouplement à griffes élastique
[5] fondation isolée des vibrations pour recevoir le moteur
[6] réservoir de stabilisation pour l'air d'admission
[7] potentiomètre pour l'ajustage en continu du couple du frein
[8] potentiomètre pour l'ajustage en continu de la vitesse de rotation du frein
[9] mesure et affichage du couple, de la température de l'air, de la quantité d'air d'admission, de la dépression d'admission, de la vitesse de rotation, de la consommation de carburant, de la température du carburant
[10] affichage des valeurs de mesure du moteur: température des gaz d'échappement et températures de l'eau de refroidissement
[11] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Moteur asynchrone comme frein
- puissance: env. 7,5kW à 2900min^{-1}

Plages de mesure
- couple: -50...50Nm
- température: 0...900°C
- vitesse de rotation: 0...5000min^{-1}
- consommation de carburant: 50cm^3/min
- pression d'admission du moteur: -400...0mbar
- consommation d'air: 0...690L/h

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases, 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1450x850x1880mm
Poids: env. 245kg

Nécessaire pour le fonctionnement

ventilation, évacuation des gaz d'échappement
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai (sans moteur)
1 jeu d'outils
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

CT 300
Banc d'essai pour moteurs deux cylindres, 11 kW

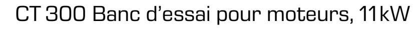
Le banc d'essai CT 300 permet de réaliser une grande variété d'essais sur des moteurs à combustion interne à quatre temps dans la plage de puissance jusqu'à 11 kW.

Deux moteurs différents sont disponibles, chacun étant monté sur une fondation: un moteur à essence deux cylindres refroidi par air, et un moteur diesel deux cylindres refroidi par eau. Le banc d'essai et le moteur à étudier peuvent fonctionner à des emplacements différents. Le moteur tourne dans une pièce séparée, et est commandé et ajusté à distance par le banc d'essai. Cela permet de réaliser et présenter les essais sur le banc d'essai dans le laboratoire, ou dans la salle de cours, sans être gêné par le bruit du moteur en fonctionnement. Pour ce faire, le banc d'essai et le moteur sont reliés entre eux par des connexions adéquates.

Du fait de son poids, l'intégration d'un moteur nécessite l'utilisation d'un dispositif de levage. Les moteurs sont chargés par un moteur asynchrone refroidi par air qui est commandé par un convertisseur de fréquence.

Les moteurs peuvent être étudiés en pleine charge et en charge partielle. La charge et la vitesse de rotation variables permettent de déterminer la cartographie du moteur. On peut aussi étudier l'action combinée du frein et du moteur.

CT 300 Banc d'essai pour moteurs, 11 kW





Le moteur est intégré sur la fondation stable avec le dispositif de freinage du banc d'essai. Le banc d'essai et le moteur peuvent être installés à des endroits différents, et même dans des pièces différentes, et reliés entre eux par des connexions appropriées. Le moteur est commandé à distance par le banc d'essai.

CT 300 + moteur d'essai (CT 300.04 à CT 300.05) avec acquisition de données sur un PC

- courbes en pleine charge et en charge partielle
- détermination des pertes par frottement dans le moteur
- comparaison du moteur essence et du moteur diesel

CT 300.04
Moteur essence deux cylindres pour CT 300

Moteur essence quatre temps refroidi par air avec formation externe du mélange



CT 300.05
Moteur diesel deux cylindres pour CT 300

Moteur diesel quatre temps refroidi par eau avec injection indirecte

Élargissement du spectre des essais

par

indication électronique, y compris logiciel pour l'acquisition de données avec CT 300.09 + capteur de pression spécifique au moteur avec transmetteur de PMH (CT 300.17 à CT 300.18)

et/ou

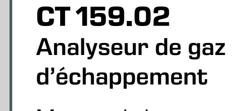
analyse des gaz d'échappement avec CT 159.02

et/ou

calorimètre pour gaz d'échappement avec CT 100.11

CT 300.17
Capteur de pression et transmetteur de PMH

CT 300.18
Capteur de pression et transmetteur de PMH



CT 300.09
Système d'indication électronique

Mesures de pression dans la chambre de cylindre d'un moteur à combustion interne

- diagramme p,V
- diagramme p,t
- évolution de la pression en cas d'échange de gaz
- détermination de la puissance indiquée
- détermination du rendement mécanique

CT 159.02
Analyseur de gaz d'échappement

Mesure de la composition des gaz d'échappement (CO, CO_2, HC, O_2), du coefficient d'air λ et de la température de l'huile du moteur



CT 300.01
Calorimètre de gaz d'échappement

Échangeur de chaleur à contre-courant pour l'analyse calorimétrique des gaz d'échappement de moteurs à combustion interne



CT 300.04
Moteur essence deux cylindres pour CT 300



Description

■ **moteur pour utilisation sur le banc d'essai CT 300**

En combinaison avec le banc d'essai CT 300, qui renferme une unité de freinage et d'entraînement, le moteur essence quatre temps CT 300.04 convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur essence quatre temps à deux cylindres refroidi par air avec formation externe du mélange. Le moteur est démarré et décéléré à l'aide d'un moteur électrique placé dans le CT 300. Un accouplement à griffes élastique permet de raccorder l'unité de freinage.

Le moteur est préparé pour la mesure de la pression de cylindre pour l'indication et renferme en outre un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement. Le capteur, le rupteur d'allumage et l'alimentation en carburant sont raccordés au banc d'essai CT 300.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

- enregistrement des courbes de couple et de puissance
- détermination de la consommation de carburant spécifique
- détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
- bilan énergétique
- détermination de la perte par frottement du moteur

Spécification

[1] moteur essence quatre temps à deux cylindres refroidi par air pour le montage dans le banc d'essai CT 300
[2] moteur monté sur plaque de montage
[3] transmission de force au frein via l'accouplement à griffes élastique
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyau de carburant avec accouplement rapide à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

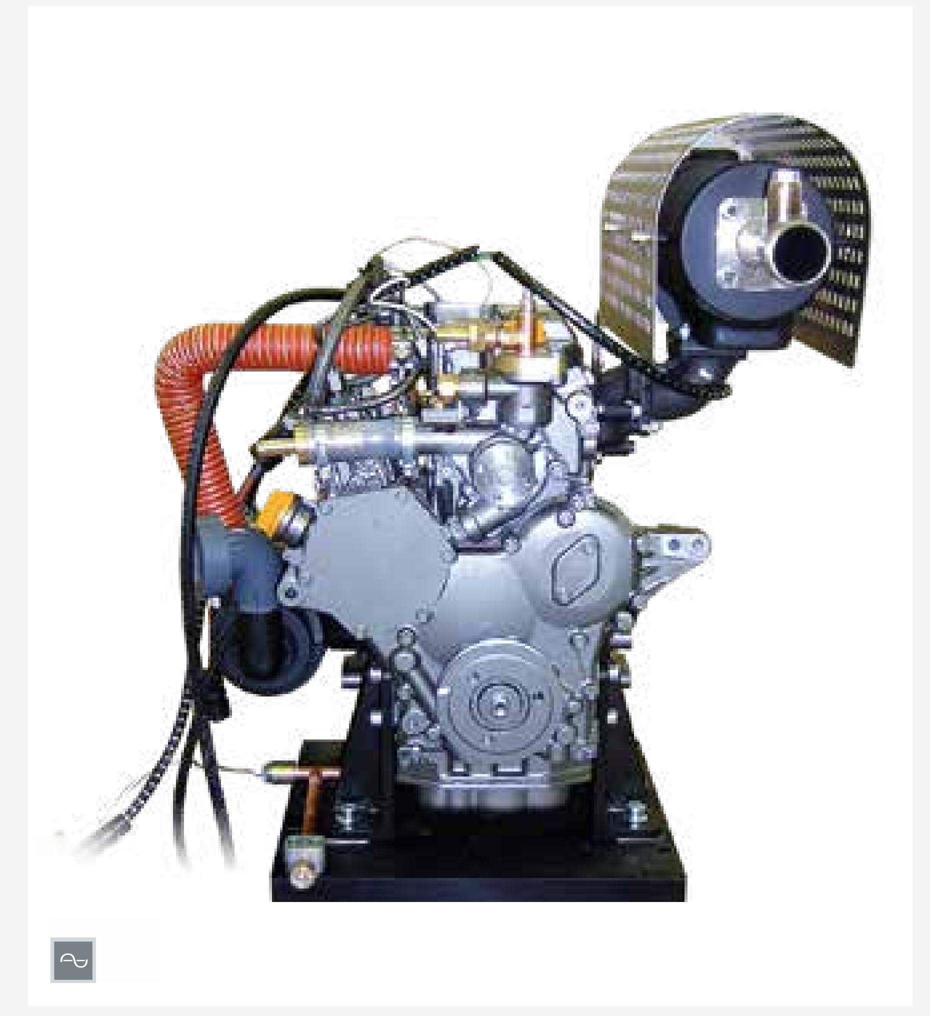
Moteur essence à deux cylindres refroidi par air
- cylindrée: 480cm^3
- alésage: 68mm
- course: 66mm
- puissance débitée: env. 11,9kW à 3600min^{-1}

Lxlxh: 500x440x550mm
Poids: env. 60kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

CT 300.05
Moteur diesel deux cylindres pour CT 300



Description

■ **moteur pour utilisation sur le banc d'essai CT 300**

En combinaison avec le banc d'essai CT 300, qui renferme une unité de freinage et d'entraînement, le moteur diesel quatre temps CT 300.05 convient parfaitement à l'enseignement des principes de base du fonctionnement et de la technique de mesure sur moteurs.

Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur diesel quatre temps à deux cylindres à injection indirecte refroidi par eau. Le moteur est démarré et décéléré à l'aide d'un moteur électrique placé dans le CT 300. Un accouplement à griffes élastique permet de raccorder l'unité de freinage.

Le moteur est préparé pour la mesure de la pression de cylindre pour l'indication et renferme en outre un capteur pour mesurer la température des gaz d'échappement. Le capteur, le rupteur d'allumage et l'alimentation en carburant sont raccordés au banc d'essai CT 300.

Les courbes caractéristiques à pleine charge et à charge partielle du moteur sont enregistrées durant les essais.

Contenu didactique/essais

- faire connaissance avec un moteur essence quatre temps
- enregistrement des courbes de couple et de puissance
- détermination de la consommation de carburant spécifique
- détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
- bilan énergétique
- détermination de la perte par frottement du moteur

Spécification

[1] moteur diesel quatre temps à deux cylindres refroidi par eau pour le montage dans le banc d'essai CT 300
[2] moteur monté sur plaque de montage
[3] transmission de force au frein via l'accouplement à griffes élastique
[4] moteur complet équipé d'un tuyau de carburant et d'un capteur de température des gaz d'échappement
[5] tuyau de carburant avec accouplement rapide à fermeture autonome

Caractéristiques techniques

Moteur diesel à deux cylindres refroidi par eau
- cylindrée: 570cm^3
- alésage: 70mm
- course: 74mm
- puissance débitée: env. 10,2kW à 3600min^{-1}

Lxlxh: 650x610x710mm
Poids: env. 110kg

Liste de livraison

1 moteur, complet avec tous les raccords et les tuyaux d'alimentation
1 notice

CT 300

Banc d'essai pour moteurs, 11kW



Description

- **banc d'essai pour moteurs industriels deux cylindres jusqu'à 11kW**
- **moteur asynchrone comme unité de charge, utilisable également comme démarreur**

Ce banc d'essai permet de mesurer la puissance des moteurs à combustion interne jusqu'à une puissance de 11kW. Le banc d'essai complet se compose de deux éléments principaux: CT 300 comme unité de commande et de charge, et un moteur au choix: moteur essence deux cylindres (CT 300.04, refroidi par air) et moteur diesel à deux cylindres (CT 300.05, refroidi par eau).

La fonction principale du CT 300 est la mise à disposition de la puissance de freinage nécessaire. Un moteur asynchrone refroidi par air avec unité de récupération d'énergie sert d'ensemble de freinage. La vitesse de rotation du frein et le couple de freinage peuvent être ajustés avec précision à l'aide d'un convertisseur de fréquence. Grâce à la récupération de l'énergie de freinage dans le réseau, on obtient un fonctionnement à haut rendement énergétique du banc d'essai. La mesure du couple s'effectue à l'aide de l'ensemble de freinage monté de manière flottante et du capteur de force.

Le moteur est monté sur une fondation et raccordé au moteur asynchrone. La fondation est isolée des vibrations de manière que des vibrations ne soient pas transmises à l'environnement.

Le moteur asynchrone est utilisé dans un premier temps pour démarrer le moteur. Dès que le moteur fonctionne, le moteur asynchrone avec l'unité de récupération d'énergie sert de frein pour charger le moteur. La puissance de freinage est alors réalimentée dans le réseau électrique.

Les réservoirs de carburant et un réservoir de stabilisation pour l'air d'admission se trouvent dans la partie inférieure du châssis mobile. Deux systèmes de mesure de carburant séparés permettent le changement rapide entre le fonctionnement à diesel et à essence.

L'armoire de commande contient des affichages numériques pour la vitesse de rotation, le couple, la consommation d'air et les températures (entrée et sortie d'eau de refroidissement du moteur, gaz d'échappement, carburant et air d'admission). La consommation de carburant, le débit d'eau de refroidissement du moteur et du calorimètre CT 300.01 disponible en option sont affichés en analogique. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

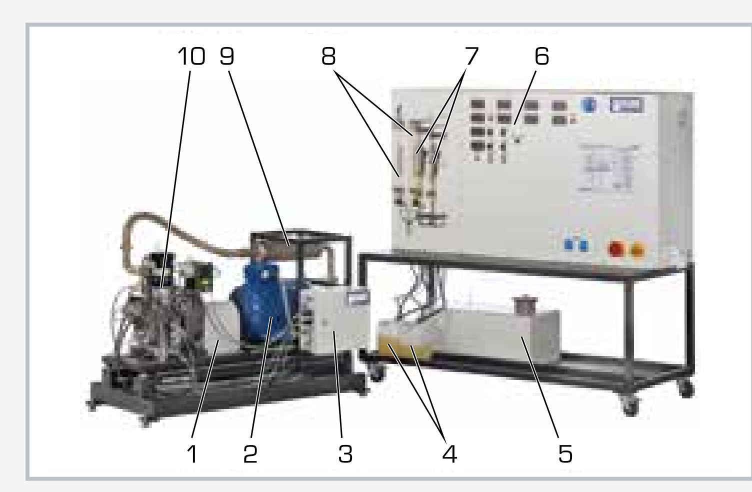
Un dispositif de levage est nécessaire pour remplacer les moteurs.

Contenu didactique/essais

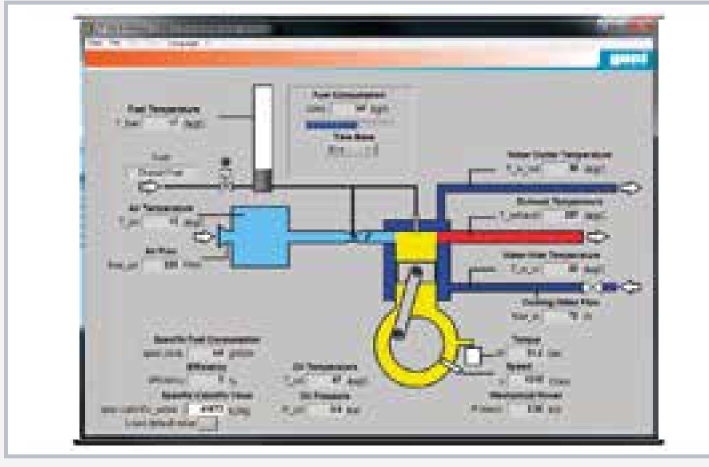
- en combinaison avec un moteur (CT 300.04 à CT 300.05)
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement
  - détermination du coefficient d'air λ et de la perte par frottement (en mode entraîné)
  - établissement de bilans énergétiques (pour les moteurs refroidis par eau)

CT 300

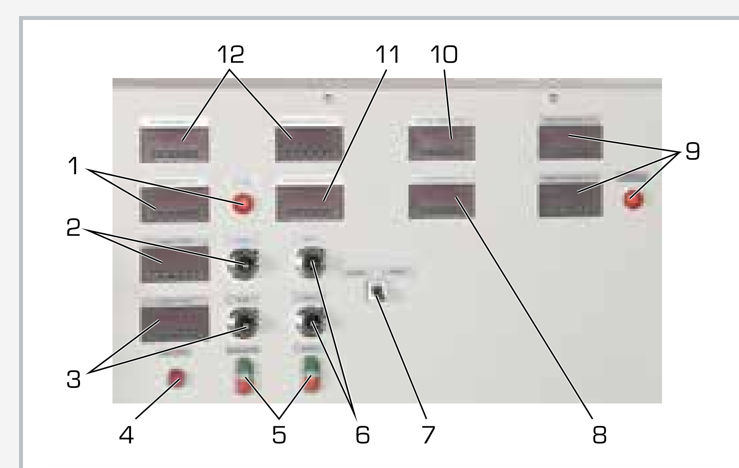
Banc d'essai pour moteurs, 11kW



1 accouplement élastique, 2 moteur asynchrone, 3 armoire de commande, 4 réservoir de carburant, 5 réservoir de stabilisation, 6 éléments d'affichage et de commande, 7 consommation de carburant, 8 mesure du débit de l'eau de refroidissement (moteur et calorimètre CT 300.01), 9 échappement, 10 moteur d'essai



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus



Instruments: 1 pression d'huile avec témoin d'avertissement, 2 couple avec ajustage, 3 vitesse de rotation avec ajustage, 4 reset du convertisseur de fréquence, 5 interrupteur pour moteur et frein, 6 accélérateur du moteur, 7 commutateur essence/diesel, 8 température d'air, 9 températures d'eau de refroidissement avec témoin d'avertissement, 10 quantité d'air d'admission, 11 température de carburant, 12 températures huile, gaz d'échappement

Spécification

[1] unité de commande et de charge pour moteurs quatre temps préparés avec une puissance max. de 11kW
[2] fondation isolée des vibrations pour recevoir le moteur et le moteur asynchrone
[3] le moteur asynchrone avec unité de récupération d'énergie comme frein génère la charge du moteur
[4] démarrage du moteur et le mode entraîné par moteur asynchrone
[5] transmission de force du moteur au frein via l'accouplement à griffes élastique
[6] 2 systèmes de mesure de carburant séparés
[7] réservoir de stabilisation pour l'air d'admission, 75L
[8] potentiomètre pour l'ajustage en continu de la vitesse de rotation du frein et du couple de freinage
[9] mesure et affichage des températures (huile, carburant, air), de la charge du moteur, de la vitesse de rotation, de la consommation de carburant, de la quantité d'air d'admission, de la pression d'huile
[10] affichage des valeurs de mesure du moteur: température des gaz d'échappement et températures de l'eau de refroidissement
[11] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Moteur asynchrone comme frein
- puissance nominale: 11kW à 3000min^{-1}

Plages de mesure
- couple: -200...200Nm
- vitesse de rotation: 0...5000min^{-1}
- débit volumétrique: 0...938L/min (air d'admission)
- débit: 0...250L/h (eau de refroidissement)
- température:
  - 4x 0...120°C
  - 1x 0...150°C (huile)
  - 1x 0...900°C (gaz d'échappement)
- pression: 0...6bar (huile)

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2100x790x1800mm (armoire de commande)
Lxlxh: 1550x800x910mm (fondation)
Poids: env. 350kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau: 500L/h
ventilation, évacuation des gaz d'échappement
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai (sans moteur)
1 jeu d'outils
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



CT 400
Banc d'essai pour moteurs quatre cylindres, 75 kW

Le groupe d'appareils CT 400 offre un large programme d'essais sur moteurs industriels dans la plage de puissance pouvant atteindre au maximum 75 kW.

Le banc d'essai complet comprend l'unité de charge CT 400 et le moteur. Le choix porte sur deux moteurs refroidis par eau:

- moteur quatre cylindres en ligne, essence
- moteur quatre cylindres en ligne, diesel

Le moteur est relié rapidement et facilement à l'unité de charge. L'unité de charge CT 400 comprend pour l'essentiel un ralentisseur électromagnétique réglable, refroidi par air. Les moteurs peuvent être étudiés en deux modes de fonctionnement:

- **torque control:** réglage manuel du couple de freinage. La courbe du frein est modifiée, différents points de pleine charge sont réglés, et des mesures effectuées en fonction de la vitesse de rotation.
- **speed control:** un régulateur maintient la vitesse de rotation constante, tandis que le couple moteur est augmenté. Ainsi, différents points de charge sont réglés, et des mesures effectuées en fonction de la charge.

Un système d'indication avec logiciel pour l'acquisition de données pour les profils de pression dans les moteurs, et un analyseur de gaz d'échappement, sont disponibles comme accessoires.

CT 400 Unité de charge, 75 kW, pour moteurs quatre cylindres

CT 400 + moteur d'essai (CT 400.01 à CT 400.02) avec acquisition de données sur un PC

- courbes en fonction de la vitesse de rotation et de la puissance
- établissement de bilans calorifiques en pleine charge ou en charge partielle
  - détermination de l'énergie amenée, de la puissance effective utile, de la quantité de chaleur du radiateur, de la quantité de chaleur des pertes de gaz d'échappement, des pertes de chaleur par rayonnement et convection
  - représentation dans le diagramme Sankey
- comparaison du moteur essence et du moteur diesel

Élargissement du spectre des essais

par

indication électronique, y compris logiciel pour l'acquisition de données avec CT 400.09 + capteur de pression spécifique au moteur avec transmetteur de PMH (CT 400.16 à CT 400.17)

et/ou

analyse des gaz d'échappement avec CT 159.02

CT 400.01
Moteur essence quatre cylindres pour CT 400

Moteur essence avec injection par aspiration, 55 kW max.



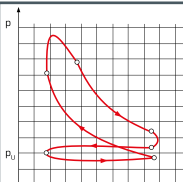
CT 400.02
Moteur diesel quatre cylindres pour CT 400

Moteur diesel avec injection par aspiration, 41 kW max.



CT 400.16
Capteur de pression et transmetteur de PMH

CT 400.17
Capteur de pression et transmetteur de PMH



CT 400.09
Système d'indication électronique pour CT 400

Mesures de pression dans la chambre de cylindre d'un moteur à combustion interne

- diagramme p,V
- diagramme p,t
- évolution de la pression en cas d'échange de gaz
- détermination de la puissance indiquée
- détermination du rendement mécanique



CT 159.02
Analyseur de gaz d'échappement

Mesure de la composition des gaz d'échappement (CO, CO_2, HC, O_2), du coefficient d'air λ et de la température de l'huile du moteur.

CT 400.01
Moteur essence quatre cylindres pour CT 400



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec l'unité de charge CT 400
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - bilans énergétiques
  - efficacité globale du moteur

Description

- **moteur pour la configuration d'un banc d'essai avec l'unité de charge CT 400**
- **circuit d'eau de refroidissement fermé**
- **accouplement facile à l'unité de charge CT 400**

Le moteur CT 400.01, associé à l'unité de charge CT 400, forme un banc d'essai pour moteurs complet. Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur essence quatre cylindres avec catalyseur régulé. Il dispose de son propre circuit d'eau de refroidissement fermé.

La configuration complète est portée par un châssis sur roulettes solide et soudé. Les zones de danger, telles que les surfaces chaudes et les pièces en rotation, sont couvertes par des tôles perforées. Le raccordement au frein s'effectue via un accouplement élastique en torsion avec arbre de transmission.

Des fermetures à genouillère relient le moteur à l'unité de charge.

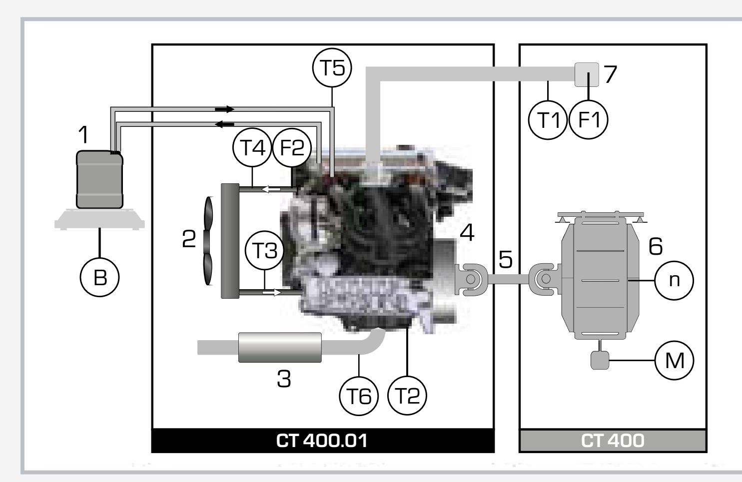
Le moteur est doté de capteurs mesurant les températures et le débit d'eau de refroidissement. L'armoire de commande comprend l'équipement électronique complet pour la gestion des fonctions du moteur (préréglage en usine). Une clé de contact, un compteur d'heures de service et des témoins d'avertissement se trouvent sur le coffret de commande. La transmission des données entre l'unité de charge CT 400 et le moteur s'effectue par un câble de transmission des données reliant les coffrets de commande des deux appareils. Une batterie de démarrage est également placée dans le châssis.

Pour des raisons de sécurité, le moteur a été réglé de façon à ce qu'il ne puisse être démarré que s'il est raccordé aussi bien mécaniquement qu'électriquement à l'unité de charge.

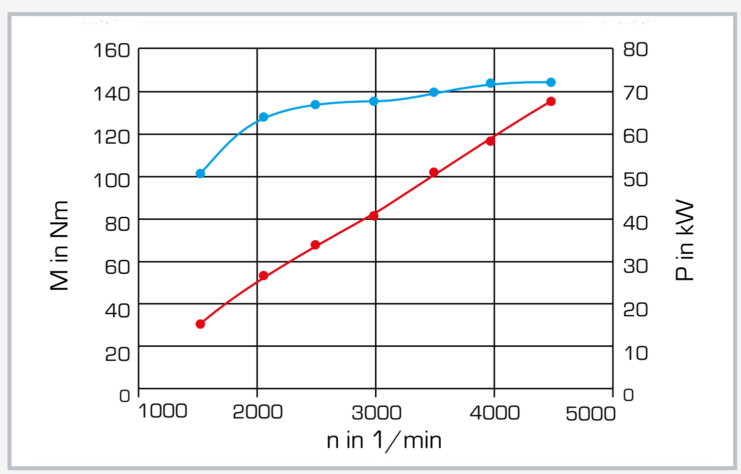
CT 400.01
Moteur essence quatre cylindres pour CT 400



1 réservoir d'eau de refroidissement, 2 radiateur avec grille de protection, 3 raccord des gaz d'échappement, 4 réservoir de carburant, 5 batterie avec interrupteur principal de batterie, 6 compteur d'heures de service, 7 témoins d'avertissement, 8 interrupteur à clé pour l'allumage, 9 raccord pour l'admission d'air du moteur



1 réservoir d'essence, 2 radiateur, 3 échappement, 4 moteur, 5 arbre de transmission, 6 frein à courants de Foucault, 7 entrée d'air; n vitesse de rotation, M couple, B consommation d'essence, débit volumétrique: F1 air, F2 eau de refroidissement, températures: T1 air d'aspiration, T2 huile, T3 entrée d'eau de refroidissement, T4 sortie d'eau de refroidissement, T5 essence, T6 gaz d'échappement



Caractéristiques de couple et de puissance du moteur
n vitesse de rotation, M couple, P puissance

Spécification

[1] moteur essence quatre cylindres refroidi par eau pour la configuration d'un banc d'essai avec l'unité de charge CT 400
[2] moteur monté de manière élastique sur le châssis mobile
[3] transmission de force au frein via l'accouplement élastique en torsion et l'arbre de transmission
[4] moteur complet avec alimentation en carburant (réservoir, pompe, tuyau) et circuit d'eau de refroidissement
[5] capteurs pour débit d'eau de refroidissement et températures (gaz d'échappement, eau de refroidissement, carburant, huile)
[6] transmission des données au moyen d'un câble de transmission des données de l'armoire de commande à celle du CT 400
[7] boîte de commande avec témoins d'avertissement (pression d'huile, panne de dynamo), compteur d'heures de service et clé de contact

Caractéristiques techniques

Moteur essence quatre cylindres refroidi par eau
- cylindrée: 1596cm^3
- alésage: 79mm
- course: 81,4mm
- puissance débitée: max. 75kW à 4800min^{-1}
- couple: max. 155Nm à 4150min^{-1}
- taux de compression: 11:1
- ordre d'allumage: 1-3-4-2

Batterie de démarrage: 12V
Capacité du réservoir de carburant: 5L
Carburant: Super, indice d'octane 95
Huile moteur: SAE 5W-30

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
Lxlxh: 1200x1120x1340mm
Poids: env. 400kg

Liste de livraison

1 moteur, monté dans le châssis
1 notice

CT 400.02
Moteur diesel quatre cylindres pour CT 400



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec l'unité de charge CT 400
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - bilans énergétiques
  - efficacité globale du moteur

Description

- **moteur pour la configuration d'un banc d'essai avec l'unité de charge CT 400**
- **circuit d'eau de refroidissement fermé**
- **accouplement facile à l'unité de charge CT 400**

Le moteur CT 400.02, associé à l'unité de charge CT 400, forme un banc d'essai pour moteurs complet. Le moteur utilisé en l'occurrence est un moteur diesel quatre cylindres. Il dispose de son propre circuit d'eau de refroidissement fermé.

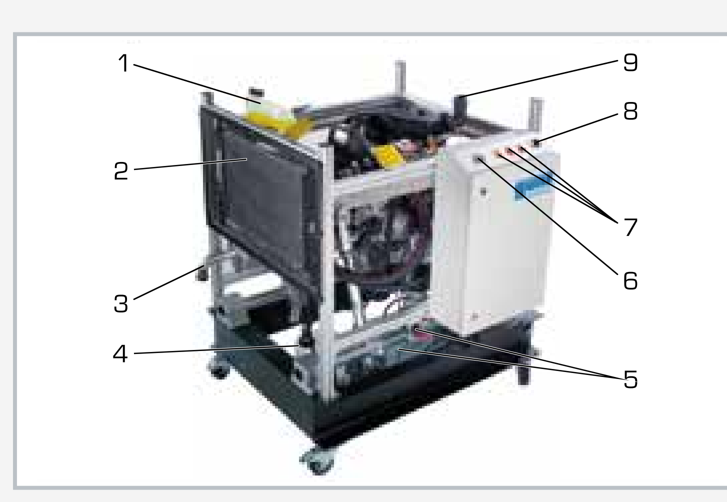
La configuration complète est portée par un châssis sur roulettes solide et soudé. Les zones de danger, telles que les surfaces chaudes et les pièces en rotation, sont couvertes par des tôles perforées. Le raccordement au frein s'effectue via un accouplement élastique en torsion avec arbre de transmission.

Des fermetures à genouillère relient le moteur à l'unité de charge.

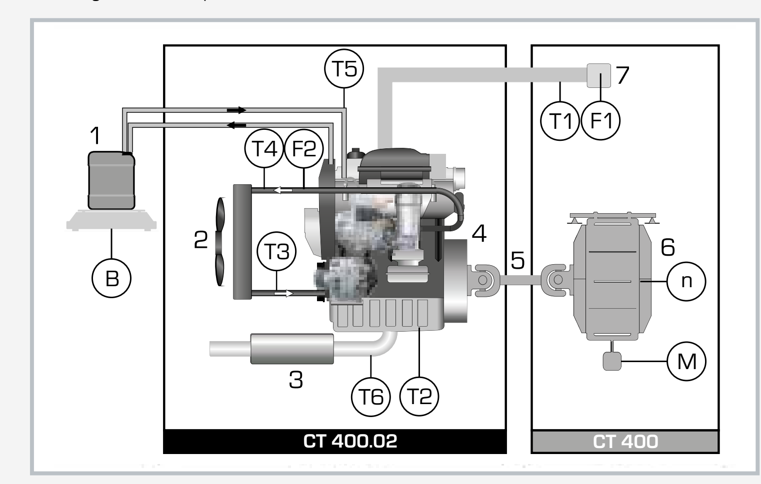
Le moteur est doté de capteurs mesurant les températures et le débit d'eau de refroidissement. L'armoire de commande comprend l'équipement électronique complet pour la gestion des fonctions du moteur (préréglage en usine). Une clé de contact, un compteur d'heures de service et des témoins d'avertissement se trouvent sur le coffret de commande. La transmission des données entre l'unité de charge CT 400 et le moteur s'effectue par un câble de transmission des données reliant les coffrets de commande des deux appareils. Une batterie de démarrage est également placée dans le châssis.

Pour des raisons de sécurité, le moteur a été réglé de façon à ce qu'il ne puisse être démarré que s'il est raccordé aussi bien mécaniquement qu'électriquement à l'unité de charge.

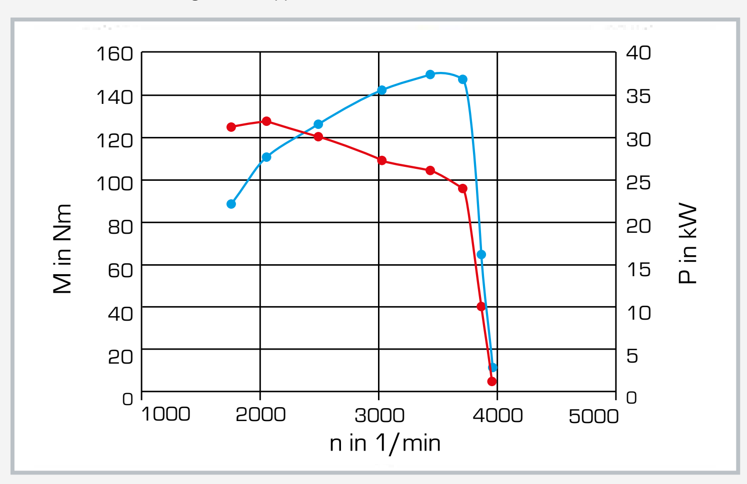
CT 400.02
Moteur diesel quatre cylindres pour CT 400



1 réservoir d'eau de refroidissement, 2 radiateur avec grille de protection, 3 raccord des gaz d'échappement, 4 réservoir de carburant, 5 batterie avec interrupteur principal de batterie, 6 compteur d'heures de service, 7 témoins d'avertissement, 8 interrupteur à clé pour l'allumage, 9 raccord pour l'admission d'air du moteur



1 réservoir d'essence, 2 radiateur, 3 échappement, 4 moteur, 5 arbre de transmission, 6 frein à courants de Foucault, 7 entrée d'air; n vitesse de rotation, M couple, B consommation d'essence, débit volumétrique: F1 air, F2 eau de refroidissement, températures: T1 air d'aspiration, T2 huile, T3 entrée d'eau de refroidissement, T4 sortie d'eau de refroidissement, T5 essence, T6 gaz d'échappement



Caractéristiques de couple et de puissance du moteur
n vitesse de rotation, M couple, P puissance

Spécification

[1] moteur diesel quatre cylindres refroidi par eau pour la configuration d'un banc d'essai avec l'unité de charge CT 400
[2] moteur monté de manière élastique sur le châssis mobile
[3] transmission de force au frein via l'accouplement élastique en torsion et l'arbre de transmission
[4] moteur complet avec alimentation en carburant (réservoir, pompe, tuyau) et circuit d'eau de refroidissement
[5] capteurs pour débit d'eau de refroidissement et températures (gaz d'échappement, eau de refroidissement, carburant, huile)
[6] transmission des données au moyen d'un câble de transmission des données de l'armoire de commande à celle du CT 400
[7] boîte de commande avec témoins d'avertissement (pression d'huile, panne de dynamo), compteur d'heures de service et clé de contact

Caractéristiques techniques

Moteur diesel quatre cylindres à injection directe refroidi par eau
- cylindrée: 1968cm³
- alésage: 81mm
- course: 95,5mm
- puissance débitée: max. 41kW à 3000min^{-1}
- couple: max. 130Nm à 1750min^{-1}

Batterie de démarrage: 12V

Capacité du réservoir de carburant: 5L
Huile moteur: SAE 5W-30

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
Lxlxh: 1200x1150x1430mm
Poids: env. 440kg

Liste de livraison

1 moteur, monté dans le châssis
1 notice

CT 400
Unité de charge, 75kW, pour moteurs quatre cylindres



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec un moteur (CT 400.01 ou CT 400.02)
  - enregistrement des courbes de couple et de puissance
  - détermination de la consommation de carburant spécifique
  - détermination du coefficient de rendement et du coefficient d'air λ
  - bilans énergétiques
  - efficacité globale du moteur

Description

- **unité de commande et de charge pour moteurs essence et diesel quatre cylindres jusqu'à 75kW**
- **ralentisseur électromagnétique refroidi par air, avec réglage précis du couple comme unité de charge du moteur**
- **accouplement facile du moteur**
- **configuration d'un banc d'essai complet avec un moteur**

Ce banc d'essai permet de mesurer la puissance des moteurs à combustion interne jusqu'à une puissance de 75kW. Le banc d'essai complet se compose de deux éléments principaux: CT 400 comme unité de commande et de charge, et un moteur au choix: moteur essence CT 400.01 ou moteur diesel CT 400.02. Le moteur devant faire l'objet de l'étude est raccordé au CT 400 au moyen d'un accouplement avec arbre de transmission.

La fonction principale du CT 400 est la mise à disposition de la puissance de freinage nécessaire. Un ralentisseur électromagnétique refroidi par air sert d'ensemble de freinage. Le couple de freinage peut être réglé avec précision à l'aide du courant d'excitation. La mesure du couple de freinage s'effectue à l'aide de l'ensemble de freinage monté de manière flottante et du capteur de force. Grâce au refroidissement par air du frein, le banc d'essai pour moteurs ne nécessite aucune amenée, ni aucune évacuation de l'air de refroidissement.

Un réservoir de stabilisation avec un canal d'admission pour l'air de combustion se trouve sur le châssis. La quantité d'air aspirée est mesurée dans le canal.

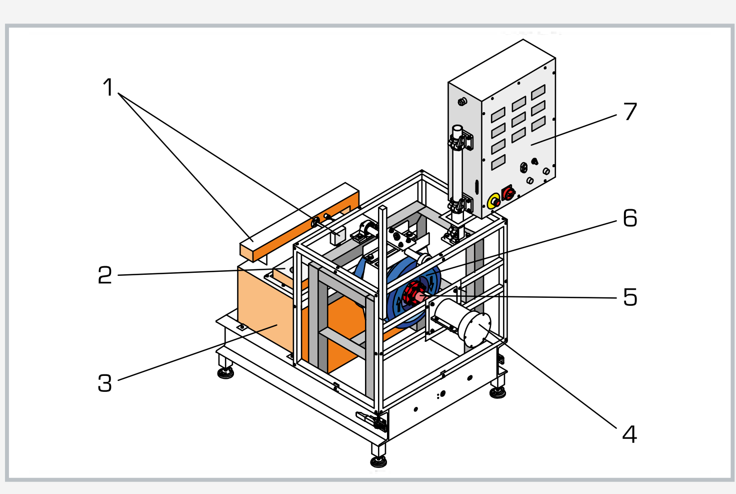
Le coffret de commande contient des affichages numériques pour la vitesse de rotation, le couple, le débit de l'air d'admission et les températures (gaz d'échappement, huile moteur, eau de refroidissement du moteur (entrée et sortie), carburant et air d'admission).

Le coffret de commande est orientable de sorte qu'un angle d'observation optimal puisse être réglé pour l'utilisateur.

La transmission des données, entre l'unité de charge CT 400 et le moteur, s'effectue par un câble de transmission des données reliant les armoires de commande des deux appareils. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

Outre les dispositifs de sécurité usuels (p.ex. pression d'huile, limiteur de température), l'unité de charge comprend un interrupteur de fin de course pour contrôler si le frein et le moteur sont correctement reliés entre eux.

CT 400
Unité de charge, 75kW, pour moteurs quatre cylindres



1 canal d'admission d'air avec anémomètre, 2 filtre à air, 3 réservoir de stabilisation de l'air d'admission, 4 protection arbre de transmission, 5 accouplement à 2 arbres cannelés, 6 ralentisseur électromagnétique, 7 coffret de commande avec éléments d'affichage et de commande



L'illustration montre le CT 400 avec le moteur diesel CT 400.02.



Le ralentisseur électromagnétique est monté dans un châssis mobile, monté de manière flottante (1 palier, 2 châssis). La force d'appui générée par le couple est enregistrée via un dynamomètre (3). 4 arbre de transmission avec cannelures hélicoïdales

Spécification

[1] unité de charge pour moteurs essence ou diesel quatre cylindres (CT 400.01 et CT 400.02) préparés avec une puissance maximale de 75kW
[2] ralentisseur électromagnétique refroidi par air
[3] transmission de force du moteur au frein via l'accouplement élastique en torsion et l'arbre de transmission
[4] réservoir de stabilisation pour l'air d'admission env. 220L
[5] 2 modes de fonctionnement: 1. couple directement réglable (courbe caractéristique à pleine charge), 2. couple réglable par la vitesse de rotation, la vitesse de rotation reste constante (courbe caractéristique à charge partielle)
[6] potentiomètre pour le réglage en continu du frein
[7] potentiomètre pour accélérer le moteur
[8] saisie de la puissance de freinage via la vitesse de rotation et le couple de freinage
[9] mesure et affichage de la charge du moteur, de la température de l'air, de la quantité d'air d'admission, de la vitesse de rotation
[10] affichage des valeurs de mesure du moteur: températures (huile, gaz d'échappement, eau de refroidissement, carburant), pression d'huile, consommation de carburant (via la balance de précision)
[11] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Ralentisseur électromagnétique
- couple de freinage max.: 200Nm
- vitesse de rotation max.: 5000min^{-1}

Plages de mesure
- vitesse de rotation: 0...6000min^{-1}
- couple: 0...240Nm
- débit volumétrique:
  - 0...6m^3/min (air d'admission)
  - 0...50L/min (eau de refroidissement)
- température:
  - -50...200°C
  - 0...1200°C (gaz d'échappement)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1380x950x1920mm
Poids: env. 446kg

Nécessaire pour le fonctionnement

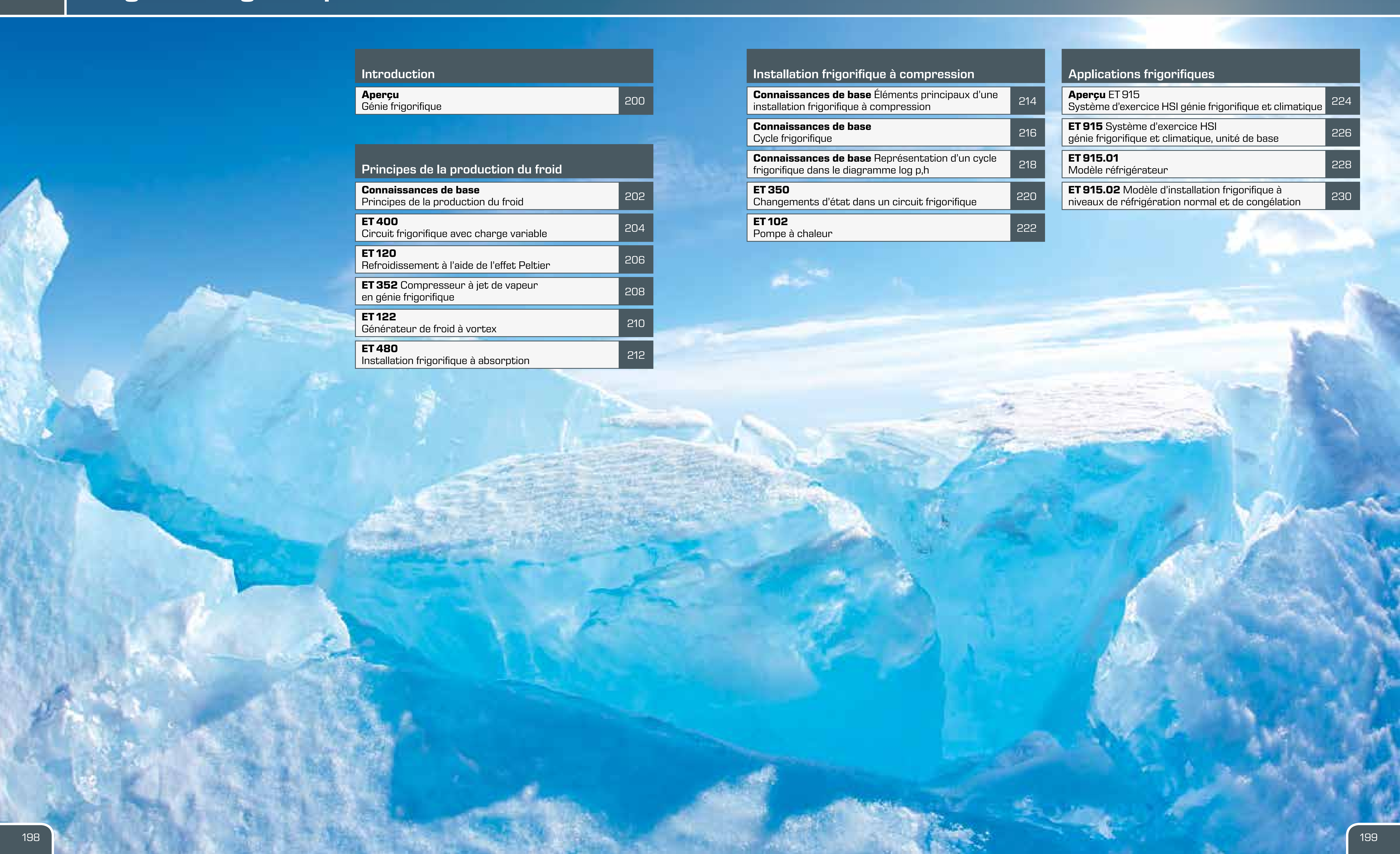
PC avec Windows recommandé, ventilation

Liste de livraison

1 unité de charge
1 jeu d'outils
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

4

Principes de base du génie frigorifique



Introduction

Aperçu
Génie frigorifique 200

Principes de la production du froid

Connaissances de base
Principes de la production du froid 202

ET 400
Circuit frigorifique avec charge variable 204

ET 120
Refroidissement à l'aide de l'effet Peltier 206

ET 352 Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique 208

ET 122
Générateur de froid à vortex 210

ET 480
Installation frigorifique à absorption 212

Installation frigorifique à compression

Connaissances de base Éléments principaux d'une installation frigorifique à compression 214

Connaissances de base
Cycle frigorifique 216

Connaissances de base Représentation d'un cycle frigorifique dans le diagramme log p,h 218

ET 350
Changements d'état dans un circuit frigorifique 220

ET 102
Pompe à chaleur 222

Applications frigorifiques

Aperçu ET 915
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique 224

ET 915 Système d'exercice HSI
génie frigorifique et climatique, unité de base 226

ET 915.01
Modèle réfrigérateur 228

ET 915.02 Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation 230

Génie frigorifique

Qu'est-ce que le froid?



Presque tous les enfants ont déjà une idée de ce qu'est le froid, étant donné que les humains ont la sensation du froid. Mais du point de vue physique, c'est une notion qui reste compliquée à expliquer. Le froid n'est ni une matière, ni une forme d'énergie. Pour faire simple, on peut dire que le "froid" correspond au manque de "chaud". Lorsque l'on parle de "froid", la température à un endroit est alors inférieure à celle de l'environnement, on est en présence d'un différentiel de température.

D'un point de vue thermodynamique, le "froid" est un état de déséquilibre. En présence d'un état de déséquilibre thermodynamique, la nature s'efforce toujours de le compenser. Conformément au deuxième principe de la thermodynamique, cette compensation s'effectue toujours de l'endroit dont la température est élevée vers l'endroit où la température est faible.

Pour reprendre l'exemple de départ de l'enfant, on a un différentiel de température entre la peau et l'environnement. La chaleur est transférée par la peau à l'environnement, et la peau est refroidie par cette évacuation de chaleur.

Le génie frigorifique consiste à concevoir des solutions techniques pour générer des températures inférieures à la température ambiante. La chaleur doit donc être transportée dans la direction opposée à celle qu'elle prend naturellement. Pour générer et maintenir ce flux d'énergie, le cycle frigorifique doit être alimenté en permanence en énergie.

Les ingénieur-e-s se trouvent confronté-e-s à la thématique du refroidissement dans de nombreux domaines. L'évacuation de la chaleur lors de la fabrication et de la production, ou la climatisation des bâtiments, nécessitent des connaissances en génie frigorifique. Le génie frigorifique possède un grand nombre d'applications dans la construction de machines et d'installations, ainsi que dans de nombreuses autres spécialités. Étant donné la grande variété des applications, les spécifications techniques varient elles aussi fortement.

Le concept didactique que nous proposons sur la thématique du génie frigorifique est très complet. Vous trouverez notre palette complète de produits dans le catalogue **3a (génie frigorifique et génie climatique).**



Vous trouverez les appareils en bleu dans ce chapitre.

Génie frigorifique	
Principes de la production du froid	ET 101, ET 352, ET 352.01, ET 480, ET 120, ET 122
Bases du génie frigorifique	ET 915, ET 915.01, ET 915.02, ET 915.06, ET 915.07, ET 350, ET 400, ET 411C
Thermodynamique du cycle frigorifique	ET 351C, ET 412C, ET 430, ET 441
Composants du génie frigorifique	**Systèmes d'exercices modulaires**
	ET 900, ET 910, ET 910.10, ET 910.11
	Compresseurs
	ET 165, ET 432, ET 428
	Échangeurs de chaleur
	ET 431, ET 405
	Tuyauterie
	ET 460
	Régulateurs primaires et secondaires
	ET 426, ET 180, ET 181, ET 182
	Étude d'appareillage et modèles en coupe
	ET 499.01, ET 499.02, ET 499.03, ET 499.12, ET 499.13, ET 499.14, ET 499.16, ET 499.18, ET 499.19, ET 499.21, ET 499.30, ET 499.25, ET 499.26
Pompes à chaleur et accumulateurs de glace	**Pompes à chaleur**
	ET 102, ET 405, HL 320.01
	Accumulateurs de glace
	ET 420
Électrotechnique	**Commandes en génie frigorifique**
	ET 144, ET 171
	Régulation d'installations frigorifiques
	ET 930
	Recherche de pannes
	ET 170, ET 172, ET 174
Montage, recherche de pannes, maintenance	MT 210, ET 192, ET 422



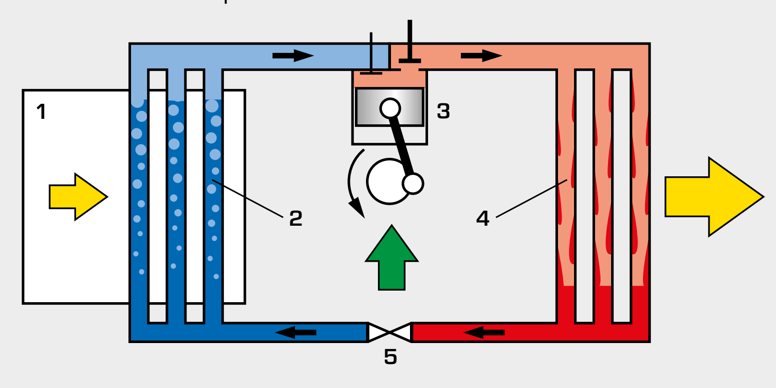
Connaissances de base

Principes de la production du froid

Le génie frigorifique décrit l'évacuation de chaleur d'une pièce à refroidir. Sous l'effet d'un différentiel de température, de l'énergie thermique est transférée du fluide chaud au fluide froid. Il existe plusieurs principes pour générer le différentiel de température requis; ces principes sont présentés ici.

Les installations frigorifiques à compression sont les systèmes frigorifiques les plus courants dans la pratique. Dans une installation frigorifique à compression, un agent réfrigérant traverse le circuit de l'agent réfrigérant, et y subit différentes transformations d'état. L'installation frigorifique à compression est basée sur l'effet physique selon lequel de l'énergie thermique est nécessaire pour le passage de l'état liquide à l'état gazeux. L'évaporateur **2** prélève de l'énergie thermique dans l'espace à refroidir **1**. Le transport de chaleur de l'évaporateur **2** vers le condenseur **4** est provoqué par les variations de la pression pendant l'évaporation et la condensation. La condensation de l'agent réfrigérant permet de libérer à nouveau l'énergie thermique.

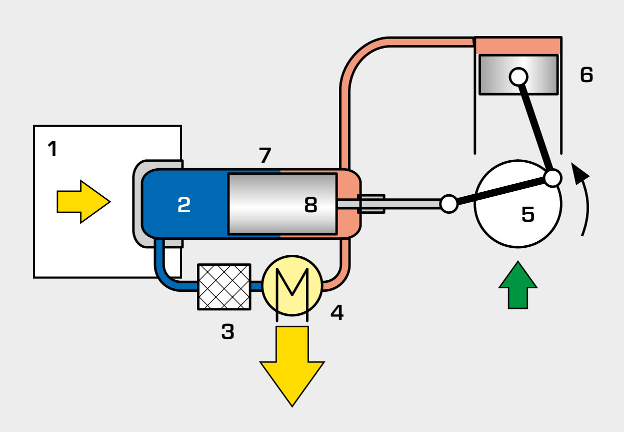
Pour augmenter la pression, il est possible d'utiliser, à la place du compresseur à piston **3** représenté, des compresseurs à vis, scroll, turbo ou à jet de vapeur.



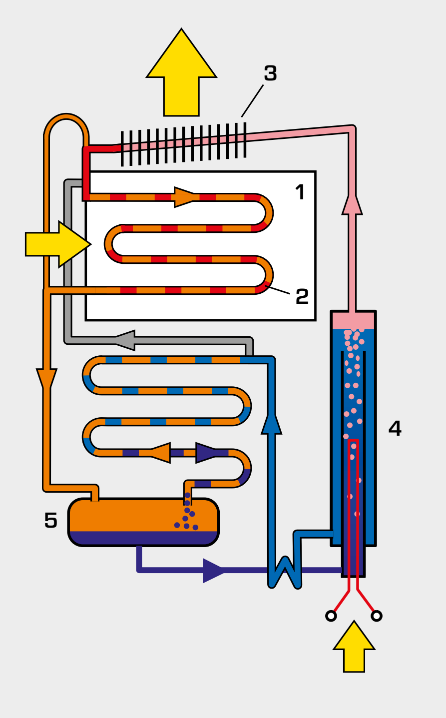
1 espace à refroidir ou refroidissement de procédé, **2** évaporateur, **3** compresseur, **4** condenseur, **5** soupape de détente;
agent réfrigérant HP gazeux, agent réfrigérant HP liquide, agent réfrigérant BP liquide, agent réfrigérant BP gazeux,
chaleur, travail mécanique

La **machine frigorifique de Stirling** est une solution de niche absolue dans la pratique. Elle fonctionne selon le même principe que le moteur Stirling, mais dans la direction opposée. Bien que le principe du moteur Stirling soit connu depuis plus de 200 ans, son application en tant que machine frigorifique en est encore au stade de la recherche.

La machine frigorifique de Stirling est composée d'un cylindre de travail **6** et d'un cylindre de déplacement **7**. Dans le cylindre de travail, un gaz de travail est comprimé et détendu en alternance. Le gaz chaud comprimé libère sa chaleur dans l'échangeur de chaleur **4**. Durant la détente, le gaz de travail refroidit et absorbe de la chaleur de la pièce **1** à refroidir du côté froid **2** du cylindre de déplacement. Le piston de déplacement **8** et le piston de travail **6** sont déplacés en conséquence de manière déphasée par le mécanisme bielle-manivelle **5**.



1 espace à refroidir ou refroidissement de procédé,
2 côté cylindre froid, **3** récupérateur, **4** échangeur de chaleur,
5 mécanisme bielle-manivelle, **6** cylindre de travail,
7 cylindre de déplacement, **8** piston de déplacement;
gaz d'échappement froid, gaz d'échappement chaud,
chaleur, travail mécanique



Contrairement à l'installation frigorifique à compression, **l'installation frigorifique à absorption** fonctionne avec deux fluides de travail, un agent réfrigérant et un solvant. Un apport d'énergie thermique permet de séparer les deux fluides de travail l'un de l'autre dans l'éjecteur **4**. La vapeur d'agent réfrigérant rejetée s'écoule dans le condenseur **3** où elle se condense. Puis l'agent réfrigérant s'évapore à basse pression dans l'évaporateur **2** en libérant de la chaleur. La vapeur d'agent réfrigérant formée s'écoule alors dans l'absorbeur **5**, où elle est absorbée par le solvant. Puis la solution composée d'agent réfrigérant et de solvant retourne dans l'éjecteur.

L'utilisation d'installations frigorifiques à absorption est judicieuse lorsque de l'énergie thermique, p.ex. de la chaleur perdue, est disponible. En effet, il est possible dans ce cas d'utiliser la chaleur perdue pour réaliser le refroidissement.

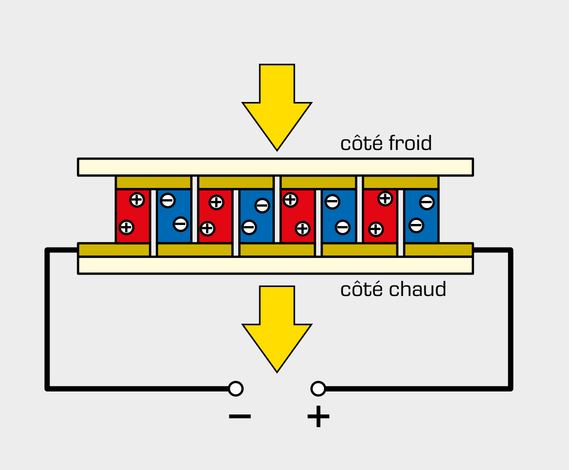
Exemple:
représentation de la combinaison de matières ammoniaque – eau

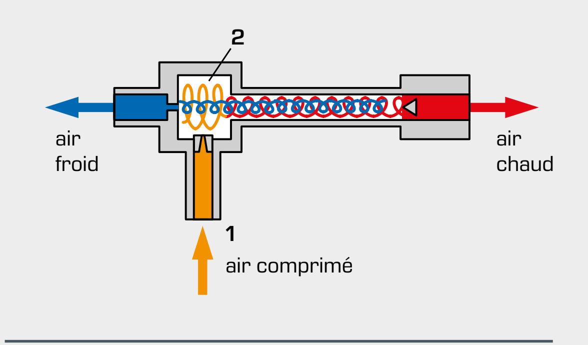
1 espace à refroidir ou refroidissement de procédé, **2** évaporateur,
3 condenseur, **4** éjecteur, **5** absorbeur;
vapeur d'ammoniac, ammoniaque liquide,
solution pauvre en ammoniaque, solution riche en ammoniaque,
hydrogène, hydrogène et vapeur d'ammoniac, chaleur

Les **installations frigorifiques thermoélectriques** sont basées sur l'effet Peltier. Un élément Peltier génère un différentiel de température au moyen d'un courant électrique; il peut être utilisé soit pour chauffer, soit pour refroidir, en fonction de la direction du courant.

Le courant passe à travers un élément thermoélectrique. Lors de ce passage, un contact électrique chauffe, tandis que le second refroidit. Afin d'augmenter la puissance, plusieurs éléments thermoélectriques sont montés en série; ils sont disposés de manière à ce que les contacts de refroidissement et de chauffage soient chacun reliés à une plaque de couverture. Lorsque le courant circule, de la chaleur est prélevée sur l'une des plaques et transférée à l'autre. La plaque froide correspond à la partie utile de l'installation frigorifique thermoélectrique.

Les éléments Peltier peuvent générer des températures très basses. Cependant, lorsque le différentiel de température augmente, le rendement baisse. Les éléments Peltier sont faciles à réguler, n'ont pas de composants mobiles et sont exempts de combustibles toxiques.





1 orifice d'entrée, **2** chambre de tourbillon

Le **générateur de froid à Vortex** fonctionne selon un principe bien particulier. De l'air comprimé est amené dans l'orifice d'entrée **1**. L'air comprimé est introduit tangentiellement dans la chambre de tourbillon **2** où il est mis en rotation. Un écoulement d'air froid se forme au centre de ce tourbillon, tandis que la couche externe du tourbillon se chauffe. L'écoulement d'air froid est dévié du milieu du tourbillon et utilisé pour le refroidissement.

L'avantage du générateur de froid à Vortex réside dans sa conception particulièrement simple, dépourvue de composants mobiles, de combustibles toxiques ou d'alimentation électrique. Il a néanmoins l'inconvénient d'offrir un faible rendement.



ET 400
Circuit frigorifique avec charge variable



Contenu didactique/essais

- montage et composants d'une installation frigorifique
  - compresseur
  - condenseur
  - soupape de détente thermostatique
  - évaporateur
  - pressostat
- représentation du cycle thermodynamique sous forme de diagramme log p,h
- détermination des grandeurs caractéristiques importantes
  - coefficient de performance
  - puissance frigorifique
  - travail de compression
- comportement en service sous charge

Description

- **circuit frigorifique avec circuit d'eau comme charge**
- **charge de refroidissement définie par température régulée de l'eau**
- **affichage de toutes les valeurs pertinentes sur le lieu de la mesure**

Un circuit frigorifique est étudié avec le ET 400 sous une charge qui peut être paramétrée. Le circuit frigorifique se compose d'un compresseur, d'un condenseur avec ventilateur, d'une soupape de détente thermostatique et d'un échangeur de chaleur à serpentin comme évaporateur. Un circuit d'eau fait office de charge, se composant d'un réservoir avec un dispositif de chauffage et d'une pompe. La température dans le réservoir est ajustée par un régulateur.

La fonction de ce circuit frigorifique est de produire de l'eau froide. L'eau traverse alors la chemise d'eau de l'échangeur de chaleur à serpentin, cède de la chaleur à l'agent réfrigérant et est refroidie par ce biais.

Toutes les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par un capteur. Des affichages indiquent les valeurs de mesure sur chaque emplacement de mesure. Il est alors possible, de cette manière, de classer les valeurs de mesure en fonction du processus. La transmission simultanée des valeurs de mesure au logiciel d'acquisition de données permet l'évaluation aisée et la représentation des processus sous forme de diagramme log p,h.

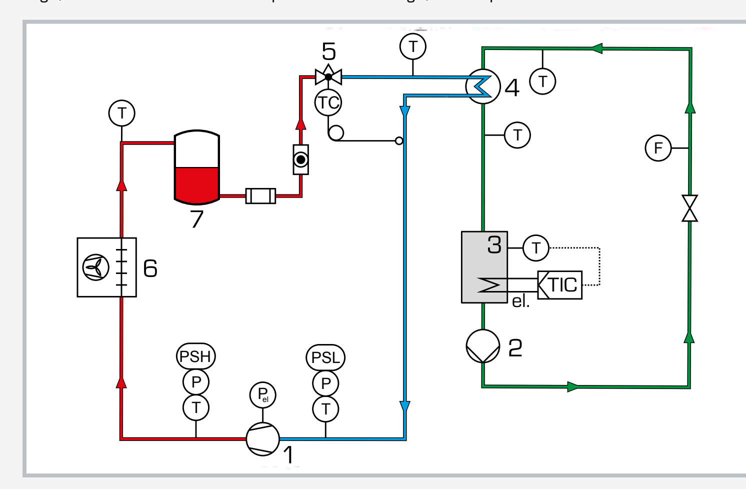
Le logiciel affiche également les grandeurs caractéristiques les plus importantes du processus, comme par exemple, les rapports de pression de compresseur et les coefficients de performance.

Les composants disposés de manière claire facilitent la compréhension.

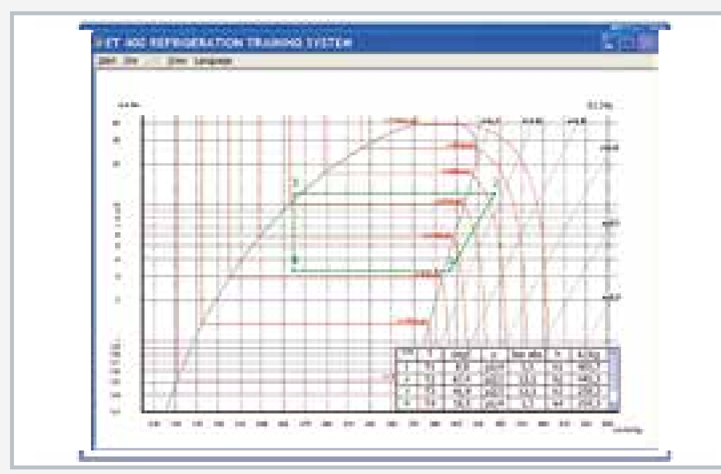
ET 400
Circuit frigorifique avec charge variable



1 soupape de détente, 2 condenseur avec ventilateur, 3 capteur de pression, 4 schéma de processus, 5 pressostat, 6 compresseur, 7 pompe, 8 régulateur pour dispositif de chauffage, 9 réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, 10 évaporateur



1 compresseur, 2 pompe, 3 réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, 4 évaporateur, 5 soupape de détente, 6 condenseur, 7 réservoir; T température, P pression, F débit, TIC régulateur de température, PSH, PSL pressostat; bleu-rouge: circuit frigorifique, vert: circuit d'eau



Capture d'écran du logiciel: diagramme log p,h

Spécification

[1] étude d'un circuit frigorifique avec circuit d'eau comme charge
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur avec ventilateur, soupape de détente thermostatique et échangeur de chaleur à serpentin comme évaporateur
[3] circuit d'eau avec pompe, réservoir avec dispositif de chauffage comme charge de refroidissement au niveau de l'évaporateur
[4] dispositif de chauffage avec régulateur pour l'ajustage de la température dans le réservoir
[5] acquisition du débit massique du fluide frigorigène en fonction de la différence de pression
[6] acquisition de toutes les valeurs de mesure pertinentes et affichage directement sur le lieu de la mesure
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[8] agent réfrigérant R134a, sans CFC

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: env. 380W à 5/40°C

Évaporateur
- volume d'agent réfrigérant: 0,4L
- volume d'eau: 0,8L

Condenseur
- surface de transfert: env. 1,25m²
- puissance absorbée du ventilateur: 4x 12W

Pompe
- débit de refoulement max.: 1,9m³/h
- hauteur de refoulement max.: 1,4m

Réservoir
- volume: env. 4,5L
- dispositif de chauffage: env. 450W

Plages de mesure
- pression: 2x -1...15bar
- puissance: 1x 0...750W
- température: 6x 0...100°C
- débit: 1x 0,05...1,8L/min (eau)
- débit: 0...50kg/h (agent réfrigérant)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1620x790x1910mm
Poids: env. 192kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 120
Refroidissement à l'aide de l'effet Peltier



Description

■ **démonstration de l'effet thermoélectrique**
■ **réalisation de bilans énergétiques**

L'appareil d'essai montre le refroidissement à l'aide de l'effet Peltier. Les éléments Peltier utilisent l'effet thermoélectrique de certains semi-conducteurs. L'effet thermoélectrique est l'inverse de l'effet de puissance thermoélectrique connu utilisé lors de la mesure de température par des thermocouples. Si un élément Peltier est traversé par un courant, alors une extrémité du semi-conducteur est chaude, et l'autre froide. C'est seulement par le biais d'un montage commun approprié de matériaux semi-conducteurs avec dopage de type p et de type n, que la puissance frigorifique peut être suffisamment augmentée pour devenir utilisable.

Les avantages de la production du froid par éléments Peltier sont les suivants: les éléments Peltier ne s'usent pas et ne nécessitent pas de maintenance, sont silencieux, fonctionnent indépendamment de l'emplacement, et bénéficient d'une puissance frigorifique facilement réglable par la tension d'alimentation.

En outre, aucun agent réfrigérant n'est nécessaire. Les éléments Peltier sont utilisés pour de petites puissances en thermographie, comme refroidisseurs de boissons ou en génie médical. Leur inconvénient réside cependant dans leur faible rendement.

La structure de l'essai est disposée de manière visible sur la face avant de l'appareil d'essai. La partie centrale du système est un élément Peltier. La puissance thermique et frigorifique de l'élément Peltier est évacuée par des courants d'eau. La mesure des débits respectifs et des températures d'entrée et de sortie permet une détermination des courants d'eau. La puissance électrique apportée est déterminée par une mesure de tension et d'intensité.

L'appareil d'essai peut rester en fonctionnement pendant un temps limité sans connexion au réseau d'eau, en raison du circuit d'eau fermé.

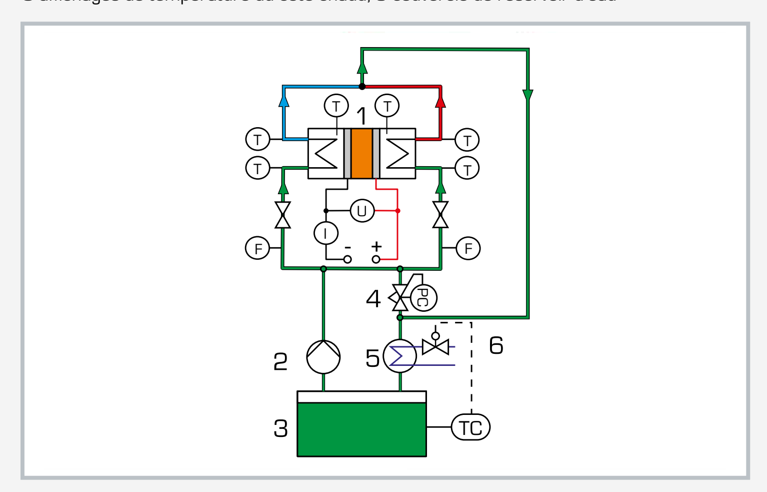
Contenu didactique/essais

■ fonction et fonctionnement d'un élément Peltier
  ▸ pour le refroidissement
  ▸ comme pompe à chaleur
■ détermination de la puissance frigorifique et thermique
■ enregistrement des courbes caractéristiques comme la puissance frigorifique par différence de température
■ bilan énergétique
■ détermination du coefficient de performance

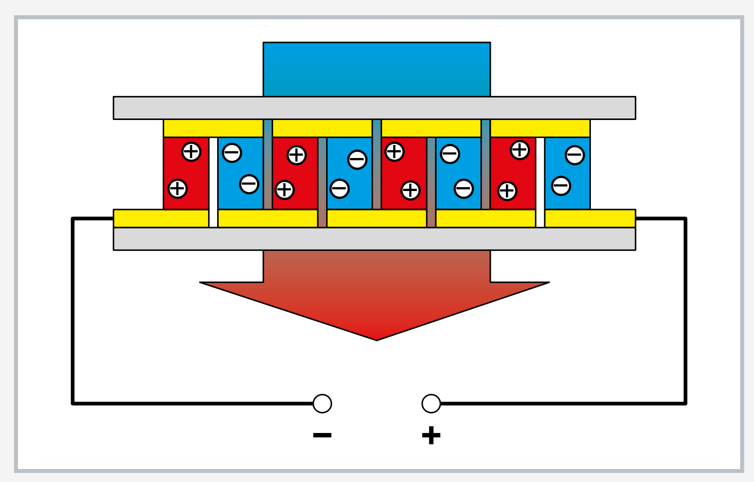
ET 120
Refroidissement à l'aide de l'effet Peltier



1 débitmètre d'eau froide, 2 affichages de température du côté froid, 3 régulateur de température du réservoir d'eau, 4 affichages de tension et courant, 5 ajustage de la puissance électrique, 6 élément Peltier avec des échangeurs de chaleur, 7 débitmètre d'eau chaude, 8 affichages de température du côté chaud, 9 couvercle de réservoir d'eau



1 élément Peltier, 2 pompe, 3 réservoir, 4 soupape de décharge, 5 échangeur de chaleur, 6 électrovanne; T température, F débit, U, I mesure de la tension et de l'intensité de l'alimentation; bleu: eau côté froid, rouge: eau côté chaud, vert: eau mixte



Principe de fonctionnement: les éléments des semi-conducteurs montés électriquement en série transportent la chaleur du côté froid (bleu) au côté chaud (rouge)

Spécification

[1] modèle de description d'un système frigorifique de Peltier
[2] appareil d'essai avec structure visible de tous les composants sur la face avant
[3] élément de Peltier refroidi par eau
[4] circuit d'eau commun pour le chauffage et le refroidissement avec réservoir, pompe et débitmètres
[5] puissance électrique ajustable de manière continue par potentiomètre
[6] affichages numériques de température, intensité et tension
[7] mesure de débit des courants d'eau par rotamètre

Caractéristiques techniques

Élément Peltier
■ puissance frigorifique max.: 191,4W
■ courant max.: 22,6A
■ tension max.: 16,9V
■ différence de température max.: 77,8K
■ température du côté chaud: 50°C

Pompe
■ puissance absorbée: 120W
■ débit de refoulement max.: 1000L/h
■ hauteur de refoulement max.: 30m

Réservoir d'eau
■ contenu: 7L

Plages de mesure
■ courant: 0...20A
■ tension: 0...200V
■ température: 2x -30...80°C, 4x 0...100°C
■ débit: 1x 2...27L/h, 1x 15...105L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x640x600mm
Poids: env. 60kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau
drain

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 documentation didactique



ET 352

Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique



Contenu didactique/essais

- comprendre l'installation frigorifique à compression selon le procédé d'éjection de vapeur
- cycle de Clausius-Rankine fonctionnant à droite et à gauche
- bilans énergétiques
- détermination du coefficient de performance du circuit frigorifique
- cycle sur le diagramme log p,h
- comportement en service sous charge
- installation frigorifique à éjection de vapeur héliothermique

Description

- **installation frigorifique avec compression à jet de vapeur**
- **production du froid avec chaleur**
- **condenseur et évaporateur transparents**
- **avec ET 352.01 et HL 313: exploitation de la chaleur solaire comme énergie d'entraînement pour un compresseur à jet de vapeur**

Contrairement aux installations frigorifiques à compression courantes, les machines frigorifiques à éjection de vapeur ne possèdent pas de compresseur mécanique, mais un compresseur à jet de vapeur. Pour cette raison, il est possible d'utiliser différentes sources de chaleur pour la production du froid. De telles sources peuvent être, par exemple, l'énergie solaire ou la chaleur perdue provenant des processus.

L'installation comprend deux circuits d'agent réfrigérant: un circuit sert à la production du froid (cycle frigorifique), l'autre circuit sert à la production de vapeur d'entraînement (cycle de vapeur).

Le compresseur à jet de vapeur compresse la vapeur de l'agent réfrigérant et la transporte dans le condenseur. Un réservoir transparent doté d'un serpentin refroidi par eau fait office de condenseur.

Dans le cycle frigorifique, une partie de l'agent réfrigérant condensé circule dans l'évaporateur, qui est raccordé au côté aspiration du compresseur à jet de vapeur. L'évaporateur est un évaporateur immergé, dans lequel une vanne à flotteur maintient le niveau de remplissage constant. L'agent réfrigérant absorbe la chaleur ambiante ou la chaleur du dispositif de chauffage et l'évapore. La vapeur de l'agent réfrigérant est aspirée par le compresseur à jet de vapeur puis à nouveau compressée.

Une pompe transporte l'autre partie du condensat dans le générateur de vapeur au cours du cycle de vapeur. Un réservoir électrique doté d'une chemise d'eau évapore l'agent réfrigérant. L'agent réfrigérant produit entraîne le compresseur à jet de vapeur. Comme alternative au chauffage électrique, de la chaleur solaire comme énergie d'entraînement peut être utilisée avec le ET 352.01 et le capteur héliothermique HL 313.

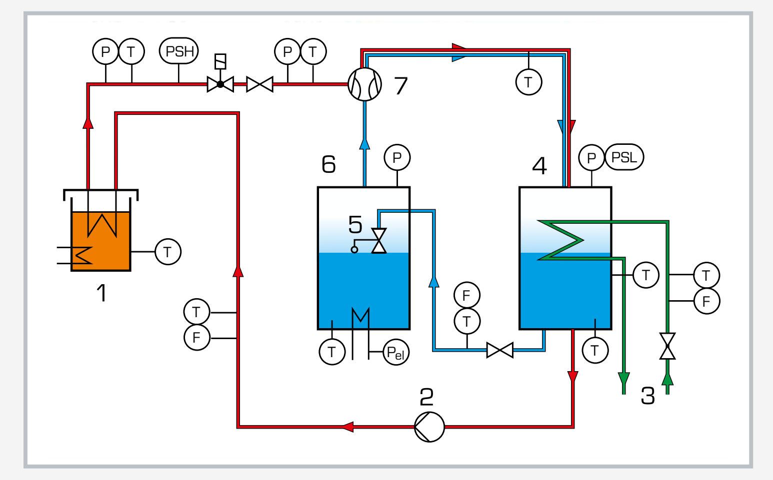
Les valeurs de mesure pertinentes sont enregistrées par des capteurs, affichées et peuvent être traitées sur un PC. La puissance du dispositif de chauffage est ajustable au niveau de l'évaporateur. Le débit d'eau de refroidissement au niveau du condenseur est ajusté par une soupape.

ET 352

Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique



1 manomètre, 2 pressostat, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 générateur de vapeur, 5 évaporateur, 6 pompe, 7 raccords d'eau de refroidissement, 8 débitmètre, 9 condenseur, 10 compresseur à jet de vapeur



1 générateur de vapeur, 2 pompe, 3 raccords d'eau de refroidissement, 4 condenseur, 5 vanne à flotteur, 6 évaporateur, 7 compresseur à jet de vapeur; T température, P pression, PSL, PSH pressostat, F débit, P_{el} puissance; rouge: cycle de vapeur, bleu: cycle frigorifique, vert: eau de refroidissement

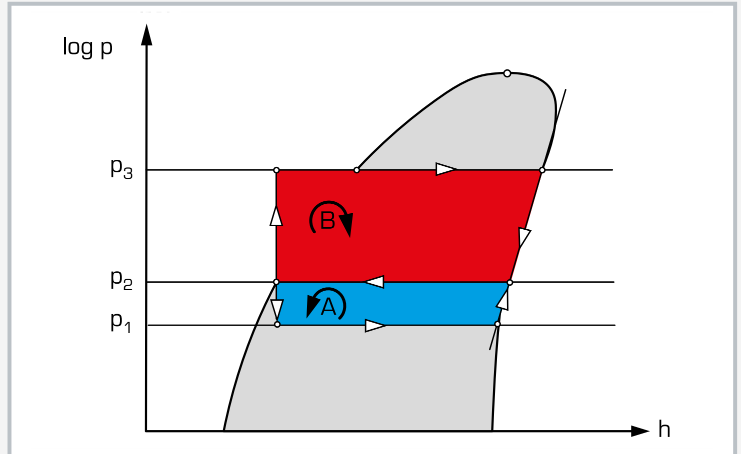


Diagramme log p,h: A cycle frigorifique, B cycle de vapeur, p_1 pression dans l'évaporateur, p_2 pression dans le condenseur, p_3 pression dans le générateur de vapeur

Spécification

[1] étude d'un compresseur à jet de vapeur
[2] circuit frigorifique avec condenseur, évaporateur et compresseur à jet de vapeur pour agent réfrigérant
[3] circuit de vapeur avec pompe et générateur de vapeur pour le fonctionnement du compresseur à jet de vapeur
[4] réservoir transparent doté d'un serpentin refroidi par eau comme condenseur
[5] réservoir transparent avec dispositif de chauffage ajustable comme évaporateur
[6] évaporateur immergé avec vanne à flotteur comme élément d'expansion
[7] générateur de vapeur doté d'une chemise d'eau chauffée (électriquement ou héliothermiquement par ET 352.01, HL 313)
[8] agent réfrigérant Solkatherm SES36, sans CFC
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur à jet de vapeur
- d_{min} tuyère convergente-divergente Laval: env. 1,7mm
- d_{min} tuyère de mélange: env. 7mm

Condenseur
- réservoir: env. 3,5L
- surface de serpentin: env. 0,17m^2

Évaporateur
- réservoir: env. 3,5L
- puissance du dispositif de chauffage: 4x 125W

Générateur de vapeur
- réservoir agent réfrigérant: env. 0,75L
- chemise d'eau: env. 9L
- puissance du dispositif de chauffage: 2kW

Pompe
- débit de refoulement max.: env. 1,7L/min
- hauteur de refoulement max.: env. 70mWS

Plages de mesure
- température: 12x -20...100°C
- pression: 2x 0...10bar; 2x -1...9bar
- débit: 3x 0...1,5L/min
- puissance: 1x 0...750W, 1x 0...3kW

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase, 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1460x790x1890mm
Poids: env. 225kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 agent réfrigérant (Solkatherm SES36, 4kg)
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 122
Générateur de froid à vortex



Description

- **démonstration du principe du vortex**
- **génération de froid et de chaleur à l'aide d'air comprimé**

L'appareil d'essai produit de l'air froid et chaud à l'aide d'air comprimé normal. L'élément central de l'appareil d'essai est le générateur de froid à vortex que l'on désigne aussi par tube à vortex (tube de Ranque-Hilsch). Dans le tube à vortex, de l'air comprimé tangentiel entrant est mis en rotation très rapide. Suite à cela, des écoulements d'air froid et chaud se produisent dans le tube à vortex, qui quittent le tube à vortex aux extrémités opposées.

Un générateur de froid à vortex ne possède pas de pièces mobiles, ne nécessite pas de maintenance, et est immédiatement fonctionnel.

Le générateur de froid à vortex trouve ses applications dans le refroidissement convectif d'outils à grande vitesse, pour la climatisation de tenues de protection et le refroidissement du coffret de commande. Celui-ci est particulièrement adapté à l'utilisation dans des zones menacées d'explosion. L'avantage ici est que le générateur de froid à vortex ne nécessite pas d'alimentation électrique.

La pression d'entrée d'air comprimé est mesurée par un manomètre. La quantité d'air comprimé et la quantité de sortie de l'écoulement d'air chaud sont mesurées chacune par un rotamètre. La température d'entrée de l'air comprimé et la température de sortie de l'écoulement d'air chaud et froid sont affichées numériquement.

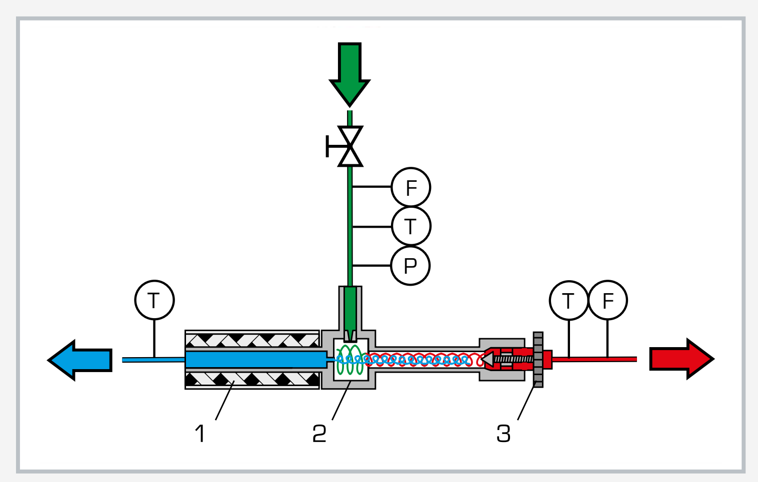
Contenu didactique/essais

- fonction et fonctionnement du générateur de froid à vortex
- répartition de l'écoulement d'air en fonction de la température de l'écoulement d'air froid
- influence de la pression d'entrée sur la puissance thermique et frigorifique

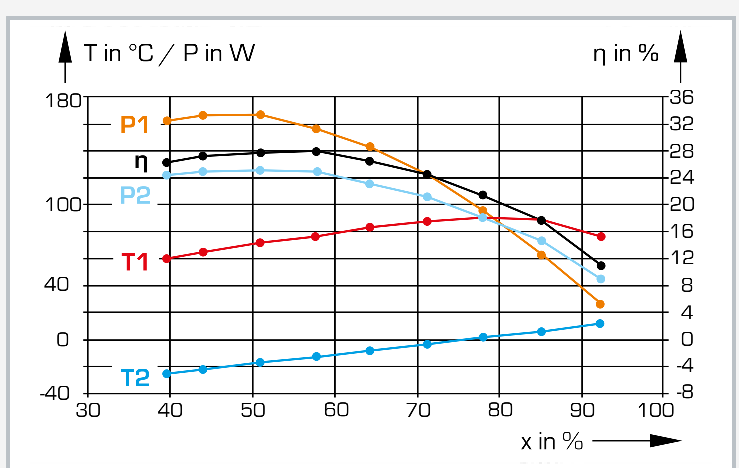
ET 122
Générateur de froid à vortex



1 manomètre, 2 tube à vortex, 3 sortie d'air froid, 4 raccord d'air comprimé, 5 schéma de processus, 6 débitmètre, 7 affichages de température, 8 sortie d'air chaud



1 silencieux, 2 tube à vortex, 3 vanne d'ajustage de la température d'air froid; T température, P pression, F débit;
bleu: air froid, rouge: air chaud, vert: air comprimé



Profils de température, puissance et rendement dépendent de la part d'air froid; rouge T1: air chaud, bleu T2: air froid, orange P1: puissance thermique, bleu clair P2: puissance frigorifique, noir: rendement d'air froid, x part d'air froid

Spécification

[1] modèle de description de production d'air froid au moyen du générateur de froid à vortex (tube à vortex), à l'aide d'air comprimé
[2] appareil d'essai avec structure visible de tous les composants sur la face avant
[3] structure simple, aucune pièce mobile, sans usure
[4] mesure de la pression d'entrée de l'air comprimé avec manomètre
[5] mesure de débit d'air comprimé et d'air chaud de sortie par rotamètre
[6] affichages numériques de la température d'entrée et de sortie de l'air froid et chaud

Caractéristiques techniques

Générateur de froid à vortex
- pression d'entrée: 5,5bar
- consommation d'air: max. 420L/min
- puissance frigorifique: max. 267W (230kcal/h)
- température minimale: -40°C
- température maximale: 110°C

Plages de mesure
- température: 3x -50...150°C
- pression: 0...10bar
- débit: 2x 2...25m^3/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
Lxlxh: 1000x600x710mm
Poids: env. 50kg

Nécessaire pour le fonctionnement

air comprimé: min. 6bar, 25m^3/h

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



ET 480
Installation frigorifique à absorption



Description

■ **modèle d'installation frigorifique à absorption**
■ **fonctionnement du bouilleur au choix avec du gaz ou électriquement**
■ **chauffage ajustable de l'évaporateur comme charge de refroidissement**

Les installations frigorifiques à absorption travaillent avec l'énergie thermique. Elles utilisent le principe selon lequel les liquides s'évaporent plus tôt à des températures basses si la pression baisse. Ce principe de base est utilisé, par exemple, sur l'appareil d'essai ET 480 avec une solution ammoniac-eau, pour laquelle l'ammoniac fait office d'agent réfrigérant.

L'ammoniac liquide s'évapore dans l'évaporateur et retire de la chaleur de l'environnement. La vapeur d'ammoniac est absorbée par l'eau dans l'absorbeur pour maintenir une pression d'évaporation basse. L'étape suivante consiste à retirer en permanence de l'ammoniac de la solution riche en ammoniac afin que le processus d'absorption ne s'arrête pas. La solution riche en ammoniac est alors chauffée dans un éjecteur jusqu'à ce que l'ammoniac s'évapore à nouveau. En dernier lieu, la vapeur d'ammoniac est refroidie dans le condenseur jusqu'à son niveau de sortie, condensée et dirigée vers l'évaporateur. La solution pauvre en ammoniac coule à nouveau vers l'absorbeur.

Afin de maintenir la différence de pression dans l'installation, de l'hydrogène est utilisé comme gaz auxiliare.

Dans les installations techniques de procédé, la chaleur perdue produite peut être récupérée et utilisée pour la production du froid. Dans le cas de petites installations comme des réfrigérateurs de camping ou des minibars à l'hôtel, la chaleur nécessaire est produite électriquement ou au moyen de brûleurs à gaz. Un avantage supplémentaire des installations frigorifiques à absorption réside dans leur fonctionnement silencieux.

L'ET 480 montre le mode opératoire d'une installation frigorifique à absorption avec les composants principaux: évaporateur, absorbeur, bouilleur comme éjecteur avec pompe pour bulles de vapeur, condenseur. Le bouilleur peut être chauffé au choix avec du gaz ou électriquement. Un chauffage électrique supplémentaire au niveau de l'évaporateur produit une charge de refroidissement.

Les températures dans le circuit frigorifique, ainsi que les puissances de chauffe du bouilleur et de l'évaporateur, sont prises en compte et affichées numériquement.

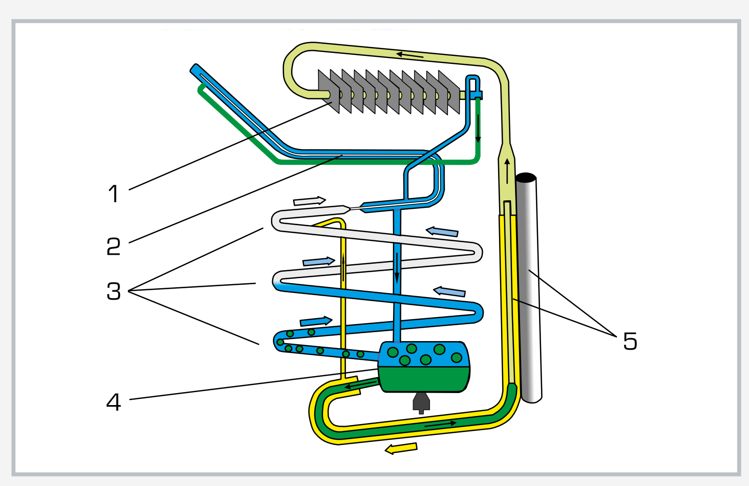
Contenu didactique/essais

■ démonstration du principe de base d'une installation frigorifique à absorption
■ installation frigorifique à absorption et ses composants principaux
■ comportement en service sous charge

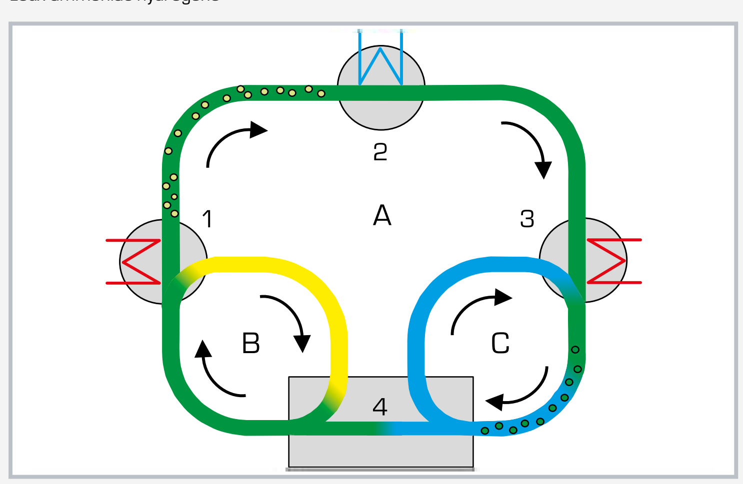
ET 480
Installation frigorifique à absorption

1
2
3
4
8
7
6
5

1 condenseur, 2 évaporateur avec chauffage, 3 absorbeur, 4 réservoir, 5 brûleur à gaz, 6 soupape de réduction de pression pour le fonctionnement avec propane, 7 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur pour l'éjection de l'ammoniac, 8 éléments d'affichage et de commande



1 condenseur, 2 évaporateur, 3 absorbeur, 4 réservoir, 5 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur;
vert: solution riche en ammoniac, jaune: solution pauvre en ammoniac, bleu: mélange gazeux ammoniac-hydrogène



1 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur, 2 condenseur, 3 évaporateur, 4 absorbeur;
A: circuit d'ammoniac, B: circuit d'eau, C: circuit d'hydrogène

Spécification

[1] fonction d'une installation frigorifique à absorption
[2] composants principaux de l'installation: évaporateur, absorbeur, bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur, condenseur
[3] solution ammoniac-eau comme fluide de travail, hydrogène comme gaz auxiliaire
[4] bouilleur pour l'éjection de l'ammoniac
[5] pompe pour bulles de vapeur pour le déplacement dans le circuit
[6] chauffage électrique ajustable de l'évaporateur faisant office de charge de refroidissement
[7] bouilleur pouvant être chauffé au choix avec un dispositif de chauffage électrique ou avec un brûleur à gaz
[8] allumeur piézoélectrique pour le fonctionnement au gaz
[9] affichages numériques de température et de puissance

Caractéristiques techniques

Fluide de travail: solution ammoniac-eau
Gaz auxiliaire: hydrogène
Dispositif de chauffage électrique: 125W
Brûleur à gaz, ajustable: propane
Évaporateur chauffage, ajustable: 50W

Plages de mesure
■ température: 4x -80...180°C
■ puissance: 0...150W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 750x450x750mm
Poids: env. 47kg

Nécessaire pour le fonctionnement

gaz propane: 30...50mbar

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 flexible
1 réducteur de pression
1 documentation didactique



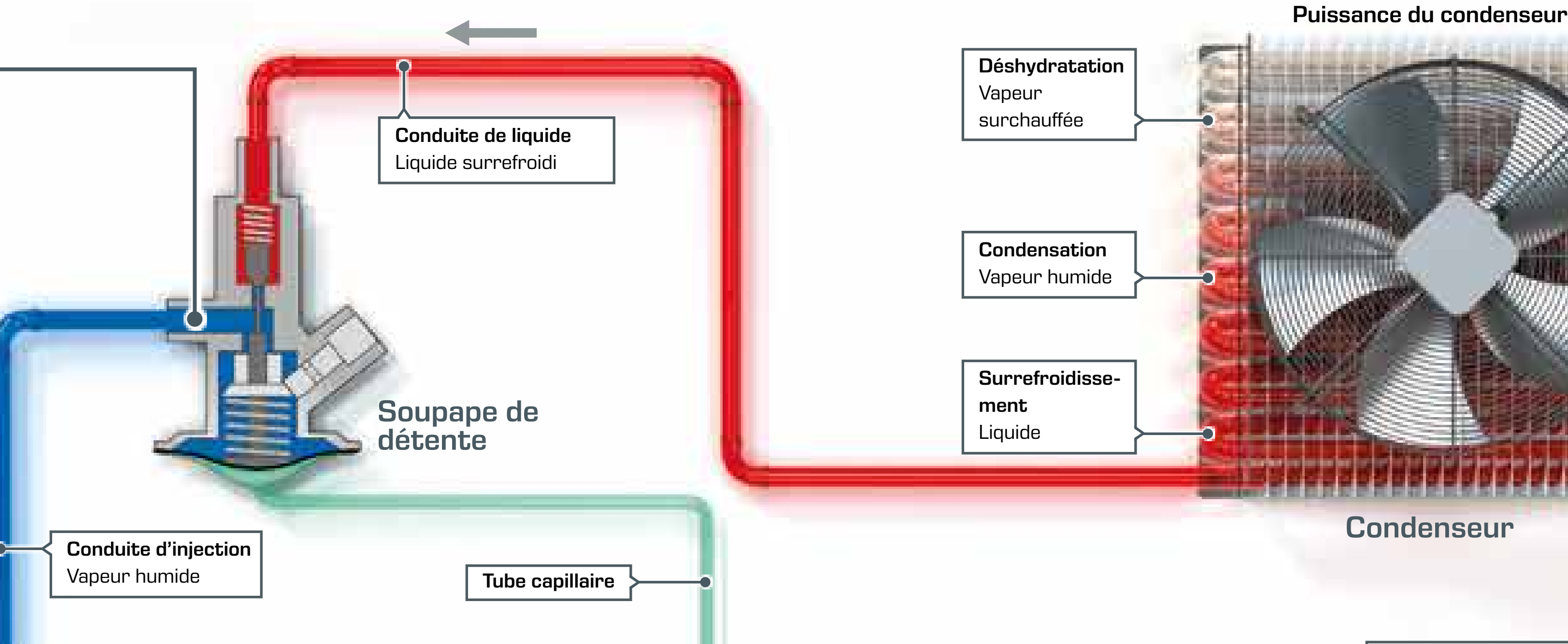
Connaissances de base

Éléments principaux d'une installation frigorifique à compression

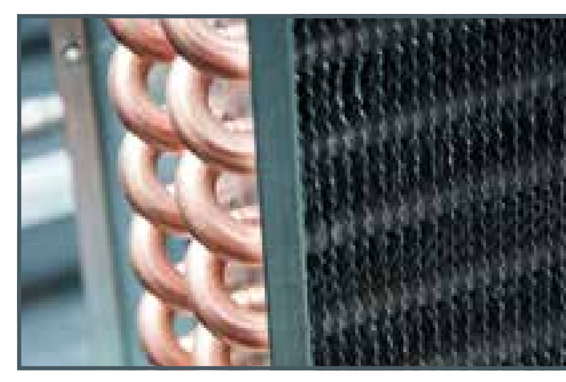


La **soupape de détente** se trouve entre le condenseur et l'évaporateur. Elle sert à détendre l'agent réfrigérant sous pression. La détente à basse pression est nécessaire pour que l'agent réfrigérant puisse s'évaporer à nouveau à basse température. Une partie de l'agent réfrigérant s'évapore déjà sous l'effet de la chute de pression au niveau de la soupape de détente, ce qui provoque une baisse de la température. En outre, il est possible d'obtenir la surchauffe de l'agent réfrigérant dans l'évaporateur en utilisant la soupape de détente. La surchauffe garantit l'évaporation intégrale de l'agent réfrigérant.

Dans une installation frigorifique à compression, de la chaleur est transportée d'un endroit à un autre sous l'effet d'un différentiel de température. Le principe du transport de chaleur dans une installation frigorifique à compression peut être décrit en présentant la fonction de base des quatre composants principaux.



Dans le **condenseur**, la chaleur de l'agent réfrigérant est à nouveau libérée et transférée à l'environnement. La libération de chaleur a pour effet de condenser la vapeur d'agent réfrigérant. La vapeur d'agent réfrigérant doit avoir une température supérieure à celle de l'environnement. Cette température de condensation requise est directement proportionnelle à la pression générée par le compresseur. La pression reste à un niveau constant élevé durant la condensation.



Dans **l'évaporateur**, de la chaleur est extraite de l'environnement, ou d'un fluide, puis transférée à l'agent réfrigérant. Ce qui entraîne l'évaporation de l'agent réfrigérant. La partie utile de l'installation frigorifique se trouve ici. Malgré l'absorption de chaleur, la température de l'agent réfrigérant reste constante. L'énergie absorbée est utilisée pour le changement de phase. Pour que l'évaporation ait lieu, la température de l'agent réfrigérant liquide doit être inférieure à celle du fluide à refroidir. Cette température d'évaporation requise est directement proportionnelle à la pression qui est obtenue de manière ciblée par l'effet d'aspiration du compresseur et le rétrécissement de la soupape de détente.

Le **compresseur** est l'unité motrice d'un système frigorifique à compression. Il extrait le réfrigérant gazeux de l'évaporateur, augmente sa pression et le transporte dans le condenseur. Le compresseur doit augmenter la pression du réfrigérant gazeux pour qu'il puisse se condenser dans le condenseur, libérant de la chaleur.

Connaissances de base

Cycle frigorifique

Le cycle frigorifique peut être décrit comme étant une suite de transformations d'état d'un agent réfrigérant. Cette suite de changements s'effectue de manière périodique, avec un retour incessant à l'état initial (cycle). Ce qui est important en génie frigorifique, ce sont les variables d'état telles que la pression, la température et la densité, ainsi que leur interdépendance.

Les procédés thermodynamiques du cycle frigorifique sont complexes. Étant donné les trois états possibles de l'agent réfrigérant (liquide, bouillant et gazeux), les calculs au moyen de formules et tableaux nécessitent beaucoup de travail. C'est pourquoi on a introduit le diagramme log p,h, dans un souci de simplification.

Ce diagramme log p,h permet en effet de représenter graphiquement les différentes variables d'état en fonction de leurs dépendances. Pour chaque point d'état, les variables d'état thermodynamiques peuvent être lues directement, et sont ainsi disponibles pour des calculs complémentaires. Les quantités de chaleur, le travail technique ou les différentiels de pression d'une transformation d'état sont indiqués sous forme de lignes mesurables. L'utilisation du diagramme log p,h simplifie considérablement les calculs thermodynamiques, et elle est incontournable pour comprendre le fonctionnement des installations frigorifiques.

De ce fait, notre logiciel pour appareils frigorifiques offre une représentation en temps réel de chaque diagramme log p,h. Toutes les modifications des paramètres de fonctionnement sont directement visibles sur le diagramme; cela permet de bien appréhender la formation des états thermodynamiques, qui seraient sinon observés uniquement d'un point de vue statique.

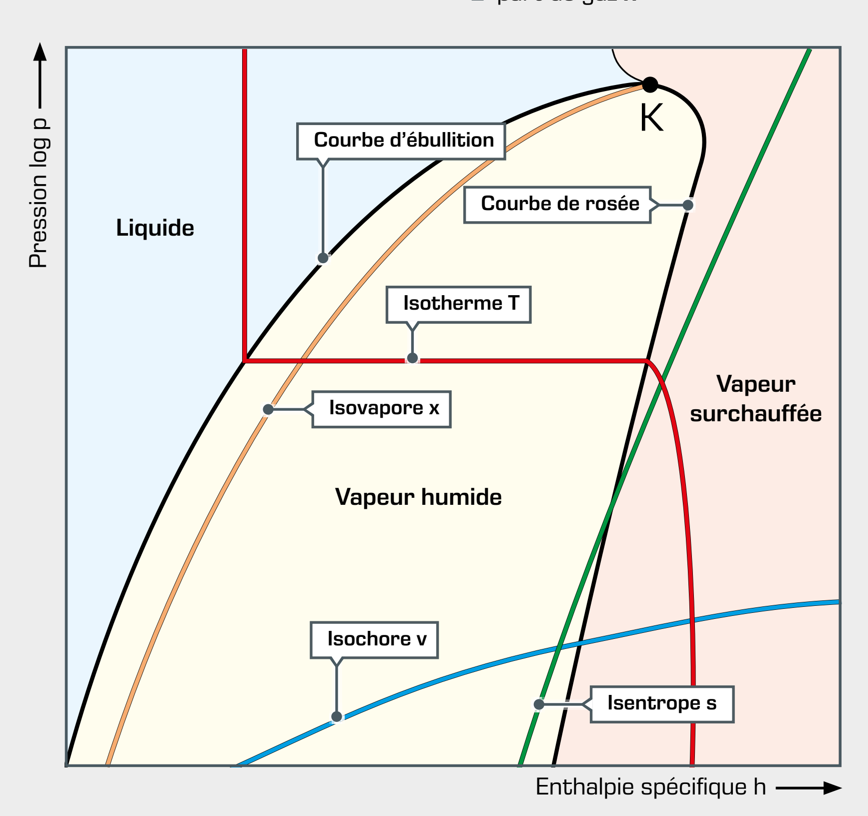
De manière générale, un diagramme log p,h montre l'état physique d'une matière en fonction de la pression et de la chaleur. En génie frigorifique, le diagramme est réduit aux zones requises qui correspondent aux états **liquides** et **gazeux** ainsi qu'au **mélange des deux**.

L'axe vertical représente la pression de manière logarithmique, et l'axe horizontal représente l'enthalpie spécifique avec mise à l'échelle linéaire. En conséquence, les isobares ont un tracé horizontal et les isenthalpes un tracé vertical. La mise à l'échelle logarithmique permet la représentation de processus présentant des différentiels de pression élevés.

Au point critique **K**, les courbes de condensation et d'ébullition se rejoignent.

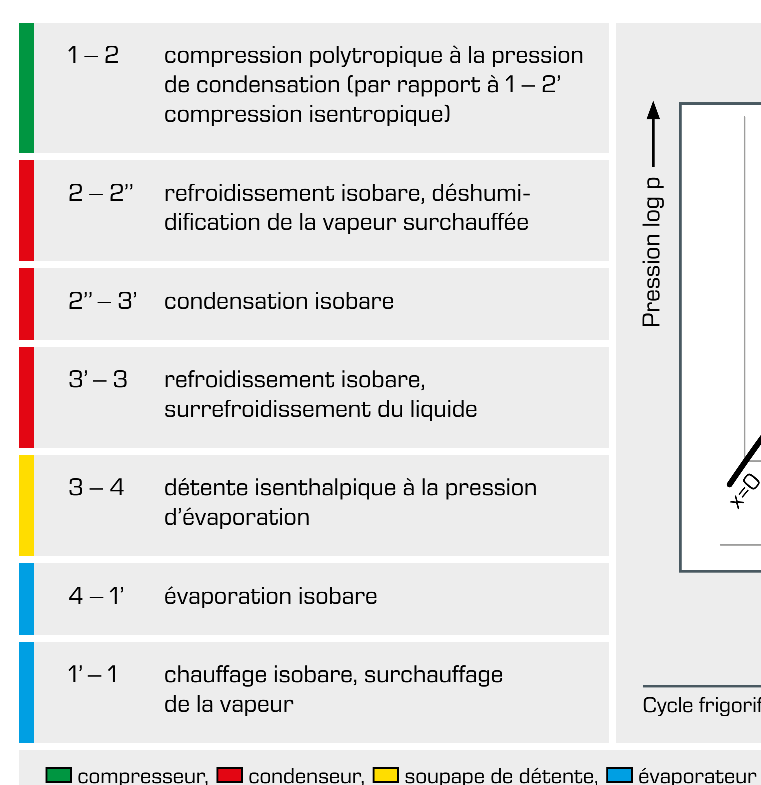
Les variables d'état thermodynamiques à chaque phase peuvent être lues sur le diagramme log p,h.

- pression **p**
- enthalpie spécifique **h**
- température **T**
- volume spécifique **v**
- entropie spécifique **s**
- part de gaz **x**

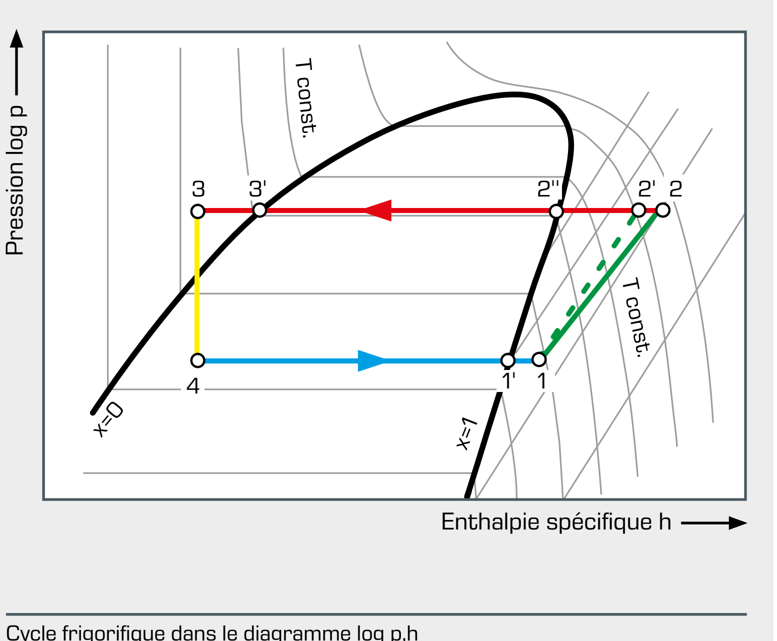


Le cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

La particularité du cycle frigorifique est qu'il fonctionne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, c'est-à-dire à l'opposé de celui du cycle de Brayton ou du cycle de vapeur. Une transformation d'état se produit lorsque l'agent réfrigérant traverse l'un des quatre composants principaux de l'installation frigorifique. Le cycle frigorifique réel se compose des transformations d'état suivantes:



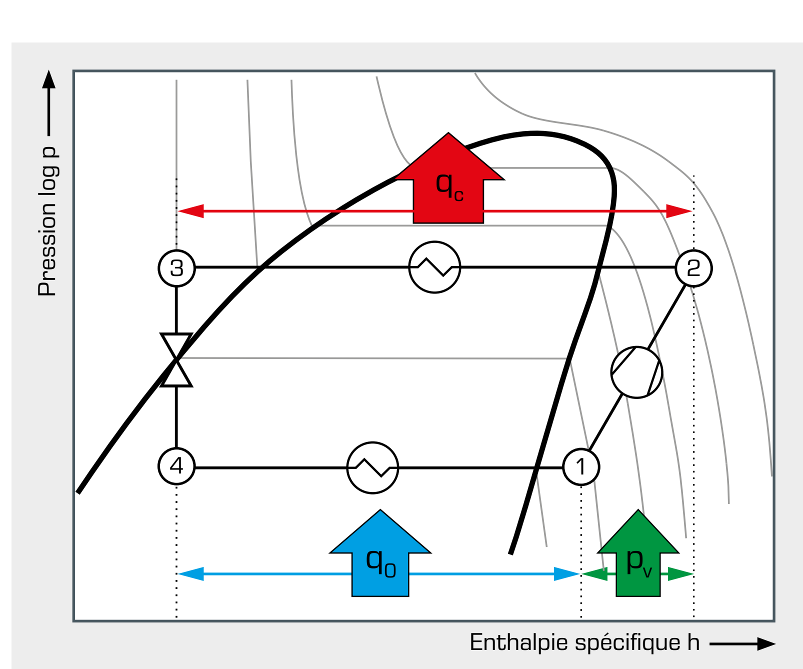
1 – 2	compression polytropique à la pression de condensation (par rapport à 1 – 2' compression isentropique)
2 – 2''	refroidissement isobare, déshumidification de la vapeur surchauffée
2'' – 3'	condensation isobare
3' – 3	refroidissement isobare, surrefroidissement du liquide
3 – 4	détente isenthalpique à la pression d'évaporation
4 – 1'	évaporation isobare
1' – 1	chauffage isobare, surchauffage de la vapeur



Cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

compresseur, condenseur, soupape de détente, évaporateur

En outre, des pertes de charge se produisent également dans le cycle frigorifique réel, de sorte que l'évaporation et la condensation ont un tracé qui n'est pas tout à fait horizontal (isobare).



Les **quantités d'énergie spécifiques** absorbées et libérées pour atteindre les points d'état sont représentées sous la forme de lignes dans le diagramme log p,h. L'enthalpie spécifique **h** peut être lue pour chaque point d'état directement sur le diagramme log p,h.

Lorsque le débit massique de l'agent réfrigérant est connu, la **puissance thermique** correspondante peut être calculée à l'aide de l'enthalpie spécifique à chaque point d'état.

- La ligne $h_1 – h_4 = q_0$ correspond au refroidissement et permet, par une multiplication avec le débit massique, d'obtenir la **puissance frigorifique**.
- La ligne $h_2 – h_1 = p_v$ correspond au travail technique du compresseur qui est réellement transféré à l'agent réfrigérant.
- La ligne $h_2 – h_3 = q_c$ correspond à la chaleur émise et donne la **puissance du condenseur** lorsqu'on la multiplie par le débit massique. Il s'agit de la chaleur perdue d'une installation frigorifique.



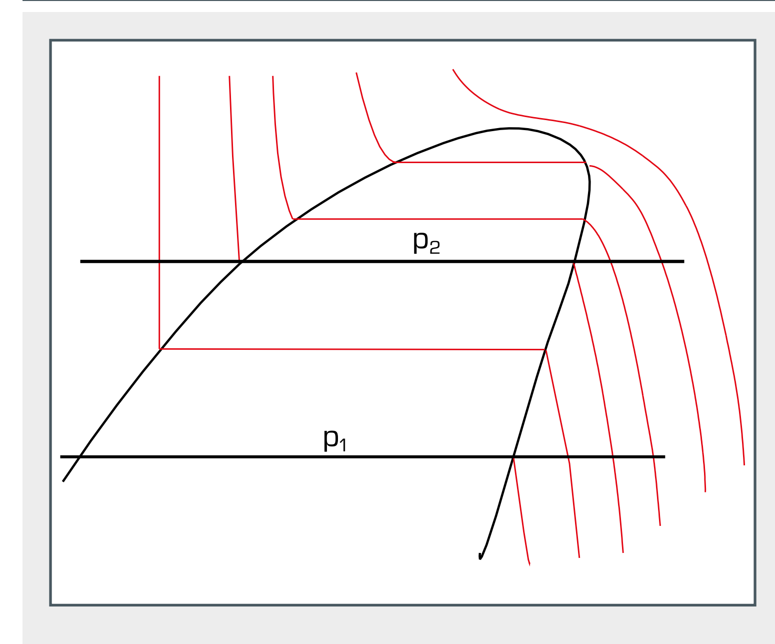
Connaissances de base

Représentation d'un cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

La digression sert à comprendre la relation fonctionnelle entre les composantes de l'installation frigorifique et les processus thermodynamiques. Les variables d'état suivantes sont nécessaires pour représenter un cycle frigorifique dans le diagramme log p,h:

- $\mathbf{p_1}$ pression d'évaporation
- $\mathbf{p_2}$ pression de condensation
- $\mathbf{T_1}$ température à l'entrée du compresseur
- $\mathbf{T_2}$ température à l'entrée du condenseur
- $\mathbf{T_3}$ température à la sortie du condenseur

1re étape: inscrire les isobares de délimitation

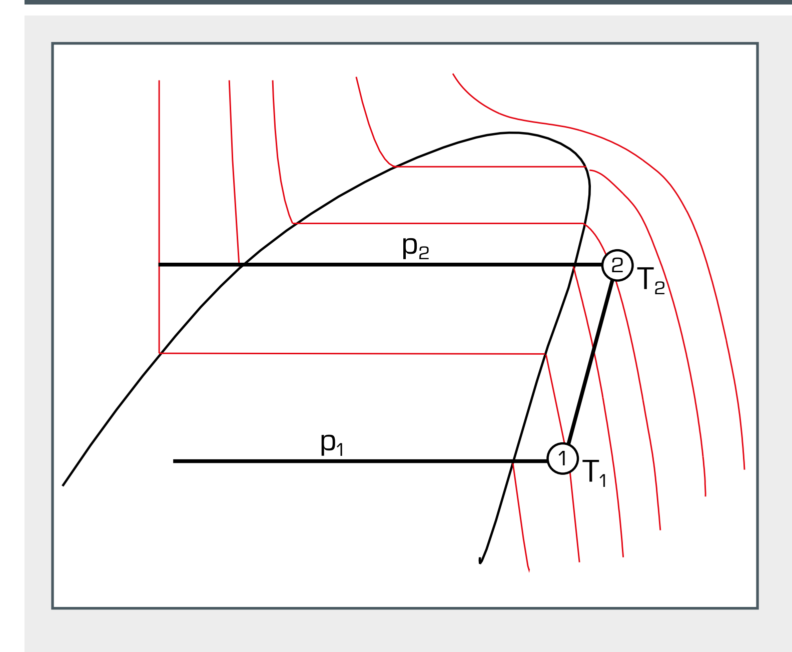


Il faut commencer par inscrire les transformations d'état isobares dans le diagramme.

- $\mathbf{p_1}$ pression d'évaporation
- $\mathbf{p_2}$ pression de condensation

Ici, il est important d'inscrire les pressions absolues dans le diagramme.

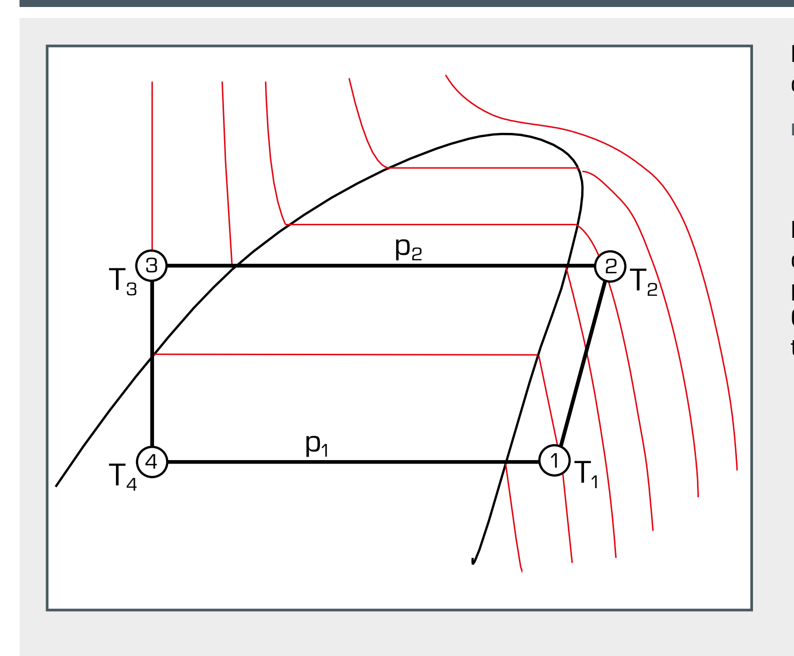
2e étape: inscrire le cycle de compression



Une fois que les isobares de limitation sont inscrits dans le diagramme, il est possible d'y inscrire le cycle de compression.

- en marquant l'intersection des isobares $\mathbf{p_1}$ avec la température à l'entrée du compresseur $\mathbf{T_1}$, on obtient le point d'état **1**.
- en marquant l'intersection des isobares $\mathbf{p_2}$ avec la température à l'entrée du condenseur $\mathbf{T_2}$, on obtient le point d'état **2**.
- la liaison entre les deux points d'état **1** et **2** décrit le cycle de compression.

3e étape: inscrire la détente isenthalpique

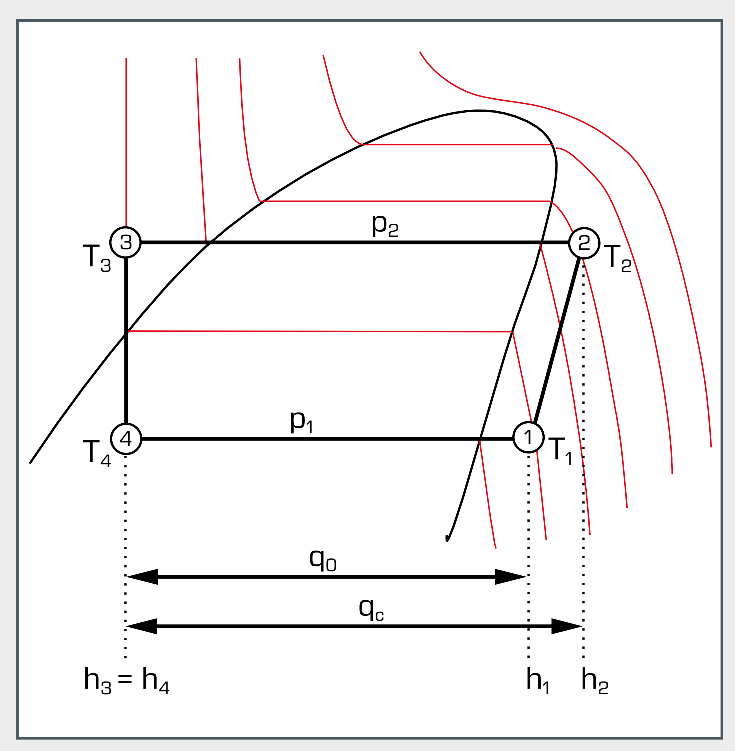


Le cycle de détente s'inscrit de la manière suivante dans le diagramme:

- en marquant l'intersection des isobares $\mathbf{p_2}$ avec la température à la sortie du condenseur $\mathbf{T_3}$, on obtient le point d'état **3**.

La détente est un processus isenthalpique. Par conséquent, le point d'intersection tracé précédemment peut être relié par une ligne verticale aux isobares $\mathbf{p_1}$. Cela donne le dernier point d'état **4** avec la température d'évaporation $\mathbf{T_4}$.

4e étape: reporter des valeurs d'enthalpie spécifiques



Pour calculer les états de fonctionnement d'une installation frigorifique, il est nécessaire de déterminer les enthalpies spécifiques des différentes transformations d'état. Il faut pour cela procéder de la manière suivante:

En reliant verticalement les points d'état avec l'axe X, on peut lire l'enthalpie spécifique.

- $\mathbf{h_1}$ enthalpie spéc. après l'évaporateur
- $\mathbf{h_2}$ enthalpie spéc. après le compresseur
- $\mathbf{h_3}$ enthalpie spéc. après le condenseur
- $\mathbf{h_4}$ enthalpie spéc. après la soupape de détente

La puissance frigorifique spécifique $\mathbf{q_0}$ et la puissance spécifique du condenseur $\mathbf{q_c}$ peuvent être lues directement sur le diagramme log p,h.

Puissance frigorifique spécifique $\mathbf{q_0 = h_1 - h_4}$

Puissance spécifique du condenseur $\mathbf{q_c = h_2 - h_3}$

ET 350
Changements d'état dans un circuit frigorifique



Description

- **le circuit frigorifique est clairement mis en évidence**
- **les composants transparents permettent d'avoir un aperçu des changements d'état**
- **évaluations énergétiques du cycle frigorifique**

Dans une installation frigorifique à compression, un agent réfrigérant circule dans le circuit frigorifique et connaît différents changements d'état. On utilise ici l'état physique qui requiert de l'énergie qui est retirée de l'environnement (enthalpie d'évaporation) lors de la transition entre les états liquide et gazeux de l'agent réfrigérant.

L'appareil d'essai ET 350 représente un circuit frigorifique typique, se composant d'un compresseur à piston hermétique, d'un condenseur, d'une soupape de détente et d'un évaporateur. L'évaporateur et le condenseur sont transparents, de sorte que le changement de phase lors de l'évaporation et de la condensation puisse être observé de manière optimale. La fonction de la vanne à flotteur comme soupape de détente est également facile à observer. Avant l'entrée dans l'évaporateur, l'état d'agrégation de l'agent réfrigérant peut être observé sur un voyant. Un circuit d'eau refroidit le condenseur, ou livre la charge de refroidissement pour l'évaporateur. Le débit d'eau froide et chaude, ainsi que celui de l'agent réfrigérant, peuvent être ajustés. Le niveau de pression bas de l'agent réfrigérant SES36 utilisé permet l'utilisation d'évaporateurs et de condenseurs en verre. L'agent réfrigérant est dépourvu de CFC, et est écologique.

Les températures et pressions sont prises en compte et affichées. De cette manière, il est possible de relever les caractéristiques clés du cycle et de les inscrire dans un diagramme log p,h. En outre, la puissance du compresseur, ainsi que le débit des courants d'eau et d'agent réfrigérant, sont affichés.

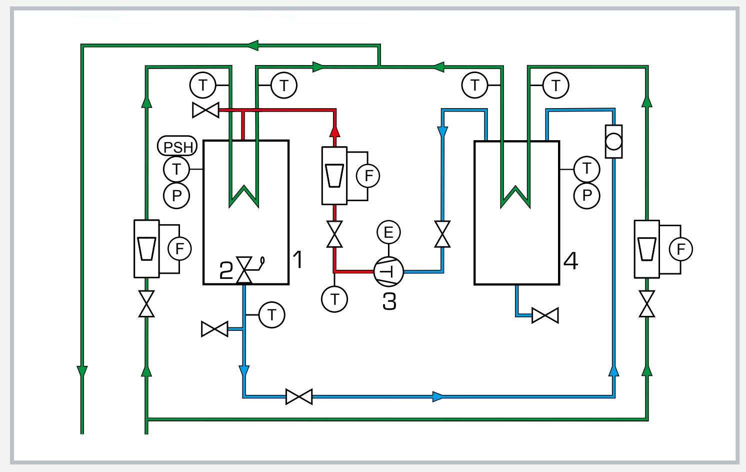
Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique à compression
- observation de l'évaporation et de la condensation de l'agent réfrigérant
- représentation et compréhension due cycle frigorifique sur un diagramme log p,h
- bilans énergétiques
- détermination du coefficient de performance

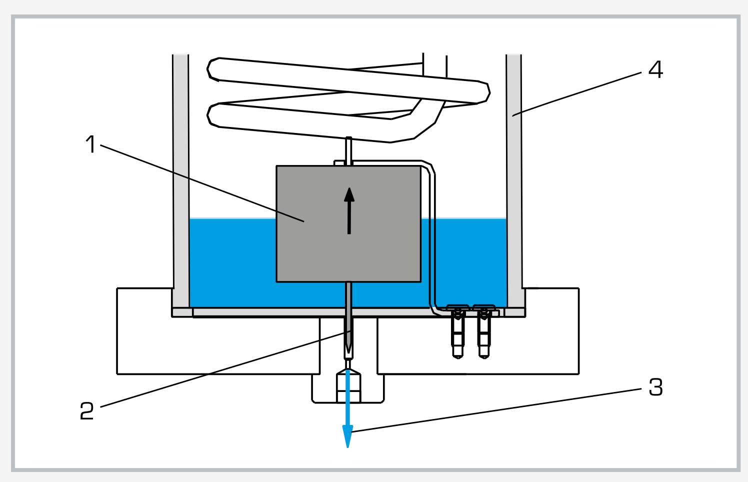
ET 350
Changements d'état dans un circuit frigorifique



1 pressostat, 2 débitmètre, 3 condenseur, 4 soupape de détente, 5 compresseur, 6 évaporateur, 7 voyant, 8 affichage de température, 9 manomètre



1 condenseur, 2 soupape de détente, 3 compresseur, 4 évaporateur; T température, P pression, E puissance électrique, F débit, PSH pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression, vert: eau



Soupape de détente sous forme d'une vanne à flotteur: 1 le flotteur soulève une aiguille hors du siège de la valve, 2 aiguille, 3 sortie de l'agent réfrigérant, 4 réservoir

Spécification

[1] démonstration des processus dans un circuit frigorifique
[2] l'évaporateur et le condenseur sont transparents afin de mieux observer le processus
[3] évaporateur et condenseur avec serpentin
[4] soupape de détente sous forme d'une vanne à flotteur
[5] pressostat de protection du compresseur
[6] capteur de température, wattmètre, manomètre en circuit frigorifique, débitmètre pour eau chaude et eau de refroidissement, et agent réfrigérant
[7] soupape de sûreté de l'évaporateur et du condenseur
[8] agent réfrigérant Solkatherm SES36, sans CFC

Caractéristiques techniques

Compresseur à piston hermétique
- cylindrée: 18,3cm^3

Volume de l'évaporateur: env. 2800mL
Volume du condenseur: env. 2800mL

Plages de mesure
- température: 8x -20...200°C
- pression: 2x -1...1,5bar
- débit:
  - 2x 0...48L/h (eau)
  - 1x 0...700L/h (agent réfrigérant)
- puissance: 0...1200W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1200x500x900mm
Poids: env. 110kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 agent réfrigérant (Solkatherm SES36, 3,5kg)
1 jeu de flexibles
1 documentation didactique

ET 102
Pompe à chaleur



Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une pompe à chaleur air-eau
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- bilans énergétiques
- détermination des grandeurs caractéristiques importantes
  - rapport de pression du compresseur
  - coefficient de performance idéal
  - coefficient de performance réel
- dépendance du coefficient de performance réel de la différence de température (air-eau)
- comportement en service sous charge

Description

- **utilisation de la chaleur ambiante pour un chauffage d'eau**
- **affichage de toutes les valeurs pertinentes sur le lieu de la mesure**

Dans le cas de la pompe à chaleur air-eau ET 102, on utilise la chaleur ambiante pour chauffer l'eau.

Le circuit de la pompe à chaleur se compose d'un compresseur, d'un condenseur avec ventilateur, d'une soupape de détente thermostatique, et d'un échangeur de chaleur à serpentin en guise de condenseur. Tous les composants sont disposés de manière visible sur le banc d'essai.

La vapeur d'agent réfrigérant comprimée se condense dans le tube extérieur du condenseur, et rend ainsi de la chaleur à l'eau contenue dans le tuyau intérieur. L'agent réfrigérant liquide s'évapore à une pression basse dans l'évaporateur à tube à ailettes, et absorbe ainsi de la chaleur provenant de l'air ambiant.

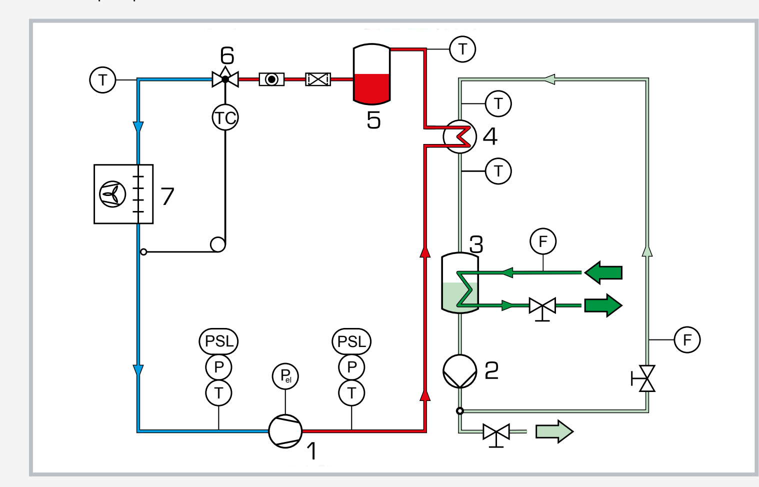
Le circuit d'eau chaude se compose d'un réservoir, d'une pompe et d'un condenseur comme dispositif de chauffage. Pour un fonctionnement continu, la chaleur perdue est évacuée par un raccord d'eau de refroidissement externe. Le débit d'eau de refroidissement est ajusté et mesuré par une soupape.

Toutes les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par des capteurs et affichées. La transmission simultanée des valeurs de mesure à un logiciel d'acquisition de données permet l'évaluation aisée, et la représentation des processus sous forme de diagramme log p,h. Le logiciel affiche également les grandeurs caractéristiques les plus importantes du processus comme, par exemple, le rapport de pression de compresseur et les coefficients de performance.

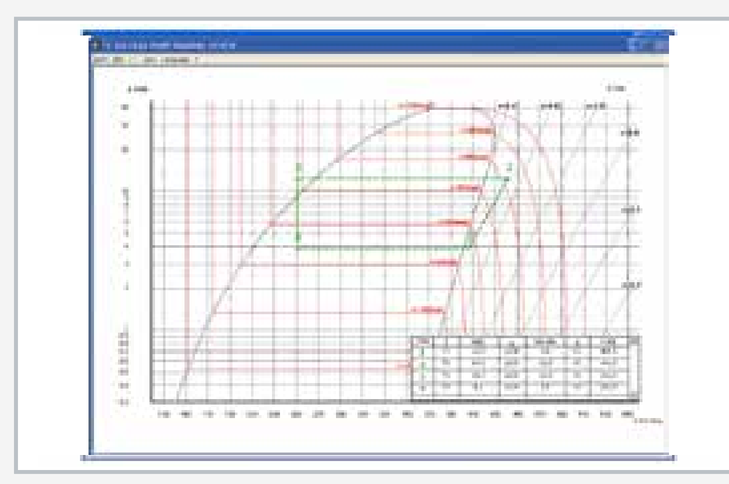
ET 102
Pompe à chaleur



1 soupape de détente, 2 condenseur avec ventilation, 3 capteur de pression, 4 pressostat, 5 éléments d'affichage et de commande, 6 compresseur, 7 débitmètre eau de refroidissement, 8 pompe, 9 réservoir d'eau chaude, 10 réservoir, 11 condenseur



1 compresseur, 2 pompe, 3 réservoir d'eau avec raccord d'eau de refroidissement externe, 4 condenseur, 5 réservoir, 6 soupape de détente, 7 évaporateur avec ventilateur; T température, P pression, F débit, P_{el} puissance, PSH, PSL pressostat; bleu-rouge: circuit frigorifique, vert clair: circuit d'eau chaude, vert: eau de refroidissment



Capture d'écran du logiciel: le diagramme log p,h

Spécification

[1] étude d'une pompe à chaleur avec circuit d'eau comme charge de refroidissement
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur avec ventilateur, soupape de détente thermostatique et échangeur de chaleur à serpentin comme condenseur
[3] circuit d'eau chaude avec pompe, réservoir et condenseur comme dispositif de chauffage
[4] refroidissement supplémentaire par serpentin dans le réservoir d'eau chaude et eau de refroidissement externe
[5] acquisition et affichage de toutes les valeurs de mesure pertinentes
[6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance: 372W à 7,2/32°C

Échangeur de chaleur à serpentin (condenseur)
- contenu d'agent réfrigérant: 0,55L
- contenu d'eau: 0,3L

Évaporateur à tubes à ailettes
- surface de transfert: env. 0,175m^2

Pompe
- débit de refoulement max.: 1,9m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 1,4m

Volume du réservoir d'eau chaude: env. 4,5L

Plages de mesure
- pression: 2x -1...15bar
- température: 4x 0...100°C, 2x -100...100°C
- puissance: 1x 0...6000W
- débit: 1x 0...108L/h (eau)
- débit: 1x 10...160L/h (eau de refroidissement)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1620x790x1910mm
Poids: env. 192kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



ET 915
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique

L'unité de base ET 915, système d'exercices HSI génie frigorifique et climatique, propose des essais de base pour les différents domaines du génie frigorifique et du génie climatique.

HSI correspond à notre concept didactique global: **H**ardware – **S**oftware – **I**ntegrated.

Génie frigorifique

ET 915.01
Modèle réfrigérateur

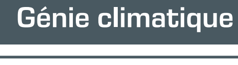


ET 915.02
Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation



Génie climatique

ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple

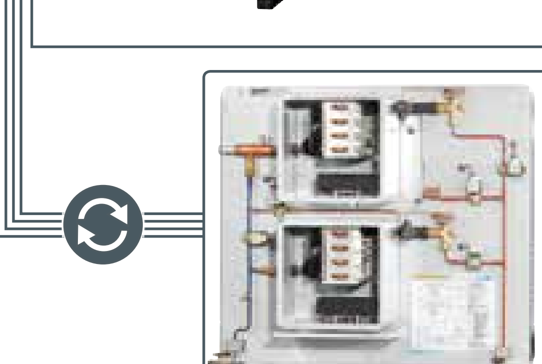




ET 915.07
Modèle de climatisation



Tous les articles comprennent des éléments d'expansion et des évaporateurs



L'unité de base ET 915 comprend les composants principaux que sont le compresseur et le condenseur

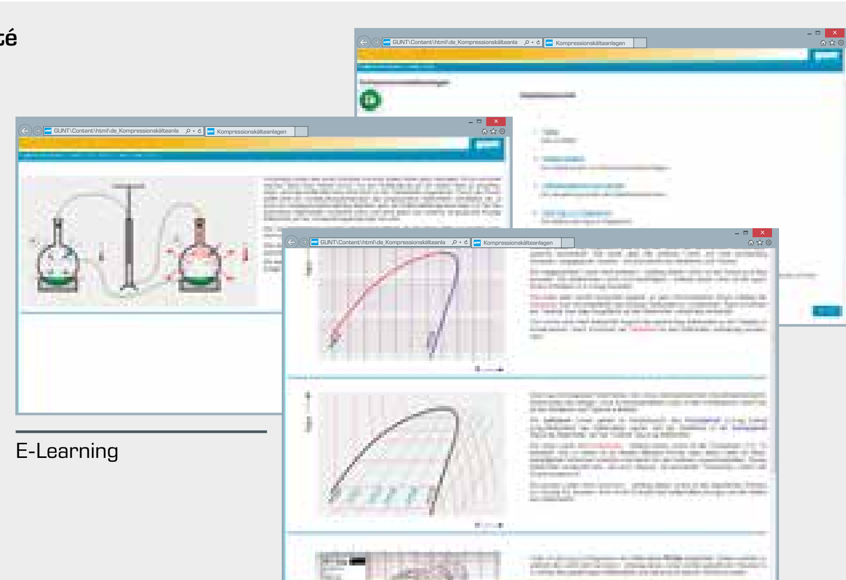


Système modulaire offrant de nombreuses possibilités didactiques

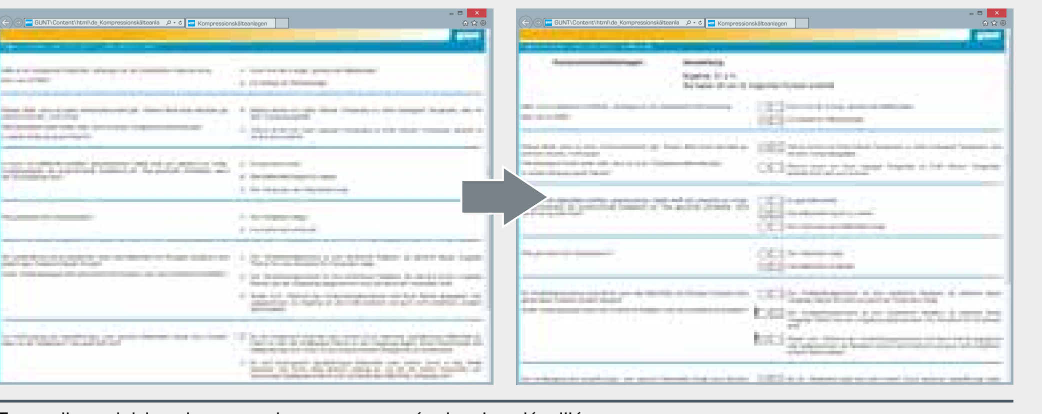
Logiciel d'apprentissage

...avec un enseignement didactique de qualité

- utilisation du logiciel d'apprentissage sur le PC personnel de l'élève ou de l'étudiant
- cours complet de génie frigorifique et climatique, avec tests d'acquisition des connaissances
- grande flexibilité grâce à la mise en place de modules d'apprentissage et de tests personnalisés
- interface intuitive



E-Learning



Tests d'acquisition des connaissances avec évaluation détaillée

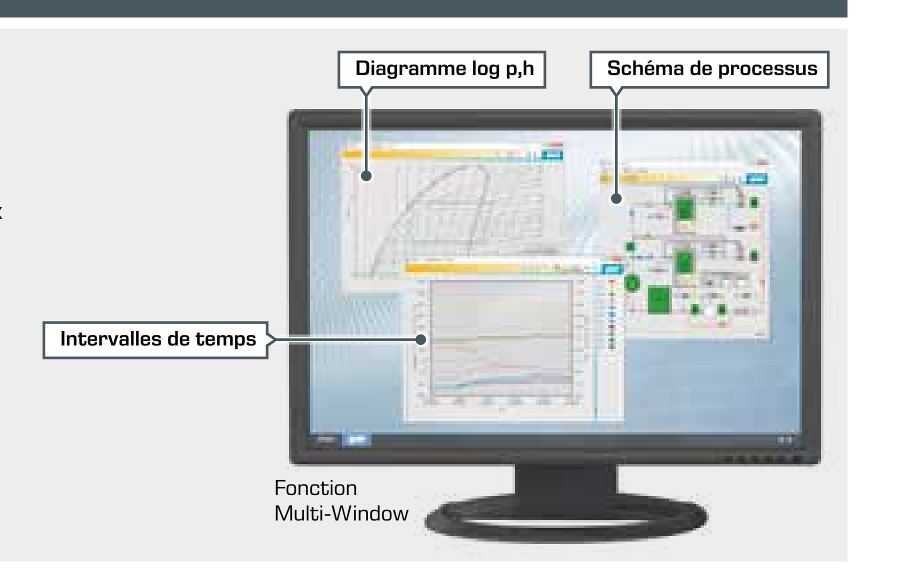
Contrôle ciblé des contenus enseignés

- suivi discret et automatique de la progression des acquis
- identification des lacunes et soutien ciblé

Acquisition de données

...avec capacité de mise en réseau illimitée

- essais interactifs pour les élèves et les étudiants via une connexion réseau
- représentation en temps réel des processus dans le diagramme log p,h et le diagramme h,x
- système Plug & Play via connexion USB





ET 915
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base



Description

- **unité de base pour la construction d'essais de base en génie frigorifique et climatique**
- **environnement d'apprentissage moderne par Hardware/Software Integration (HSI)**
- **quatre modèles pour le génie frigorifique et climatique**

L'unité de base ET 915 est complétée pour devenir un circuit frigorifique complet selon l'objectif de l'essai avec un des modèles suivants qui peuvent être livrés comme accessoires: ET 915.01 Modèle réfrigérateur, ET 915.02 Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation, ET 915.06 Modèle d'installation de climatisation simple, ET 915.07 Modèle de climatisation.

Les composants principaux du ET 915 sont le compresseur, le condenseur et le réservoir, ainsi que le système électrique et de communication. Les modèles sont posés sur l'unité de base, et connectés entre eux hydrauliquement et électriquement par des flexibles d'agent réfrigérant. Les accouplements autoétanches réduisent la perte d'agent réfrigérant au minimum. Tous les composants sont disposés de manière bien visible de sorte qu'il soit possible de bien suivre la fonction.

Le logiciel moderne et très performant fait partie intégrante du système d'exercice sous forme de l'intégration matériel / logiciel (hardware / software integration; HSI). Il permet une exécution et une évaluation confortables des essais. La liaison entre l'appareil d'essai et le PC se fait par une interface USB.

Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices. Pour chaque modèle, il y a un logiciel GUNT adapté à son contenu didactique.

Les températures et pressions sont prises en compte dans le système par capteurs, et représentées de manière dynamique sur le logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données. L'influence des modifications des paramètres peut être suivie online sur les diagrammes log p,h et h,x. L'installation est commandée par le logiciel de la même manière.

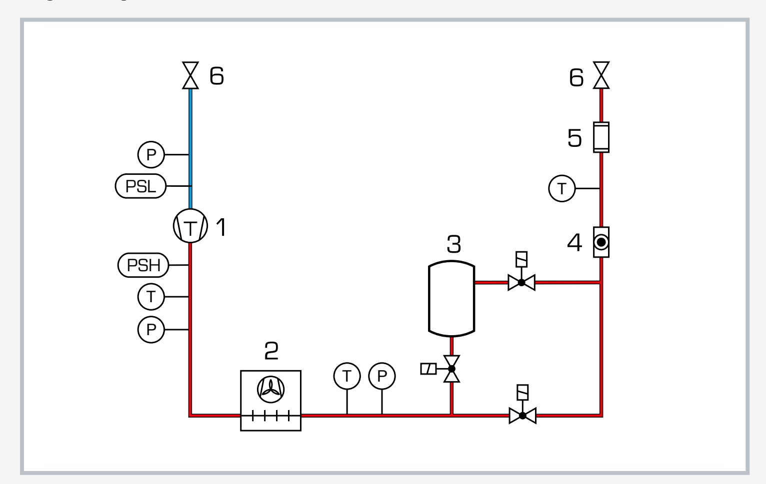
Contenu didactique/essais

- en combinaison avec le ET 915.01, ET 915.02, ET 915.06 et ET 915.07
  - bases du cycle frigorifique
  - bases de la climatisation de l'air
  - composants d'une installation frigorifique/de climatisation
  - commande de l'installation
  - recherche de pannes

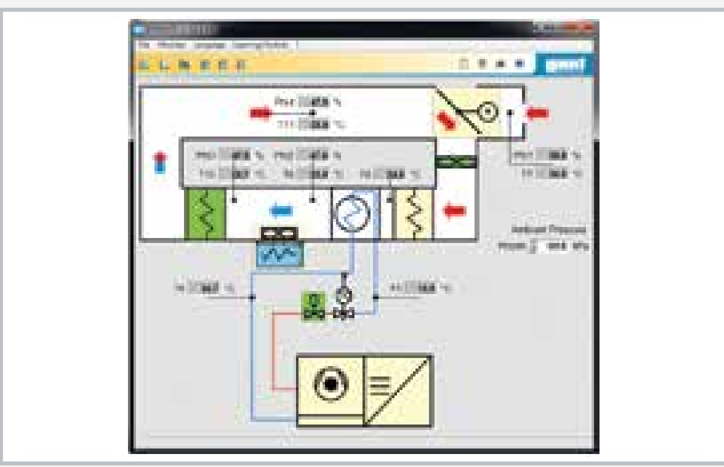
ET 915
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base



1 compresseur, 2 condenseur avec ventilateur enclenchable, 3 réservoir, 4 électrovanne, 5 cadre pour accueil du modèle, 6 filtre/sécheur, 7 manomètre, 8 pressostat, 9 flexible d'agent réfrigérant



1 compresseur, 2 condenseur, 3 réservoir, 4 voyant, 5 filtre/sécheur, 6 flexible d'agent réfrigérant pour les modèles;
PSH, PSL pressostat; T température, P pression;
bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus du modèle ET 915.07. Les valeurs de mesure sont affichées "online".

Spécification

[1] essais de base de fonctionnement des installations frigorifiques et de climatisation par la combinaison de l'unité de base et de modèles
[2] système d'exercices GUNT avec technologie HSI
[3] groupe frigorifique se composant d'un compresseur, d'un condenseur et d'un réservoir
[4] liaison entre le groupe frigorifique et le modèle par les flexibles d'agent réfrigérant
[5] modèle fixé de manière sûre à l'ET 915 à l'aide de fermetures à genouillère
[6] manomètre pour l'agent réfrigérant avec échelle de température
[7] agent réfrigérant R134a, sans CFC
[8] commande de l'installation par électrovannes et logiciel
[9] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Groupe frigorifique
- puissance frigorifique: 340W à 0/32°C

Plages de mesure
- température: 1x -50...50°C, 3x 0...100°C
- pression:
  - 1x côté aspiration: -1...9bar
  - 2x côté pression: -1...15bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 830x650x320mm
Poids: env. 60kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 groupe frigorifique, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 documentation didactique



ET 915.01
Modèle réfrigérateur



Description

- **modèle simple de réfrigérateur domestique pour un raccordement à l'ET 915**
- **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.01 est une partie du système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel de réfrigérateur domestique est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet.

L'ET 915.01 se compose d'une chambre de refroidissement avec dispositif de chauffage comme charge de refroidissement, évaporateur, ventilateur et différents éléments d'expansion. Le ventilateur permet d'atteindre et de soutenir une répartition uniforme de température dans les chambres. De plus, une charge de refroidissement peut être simulée avec le dispositif de chauffage. Les électrovannes permettent le fonctionnement de l'installation avec un tube capillaire ou une soupape de détente. Tous les composants sont disposés de manière visible sur un panneau.

La commande de composants individuels de l'installation, ici la régulation de la température, du ventilateur, du dispositif de chauffage, du compresseur et des électrovannes, se produit par le logiciel. Le logiciel offre la possibilité de simuler des pannes.

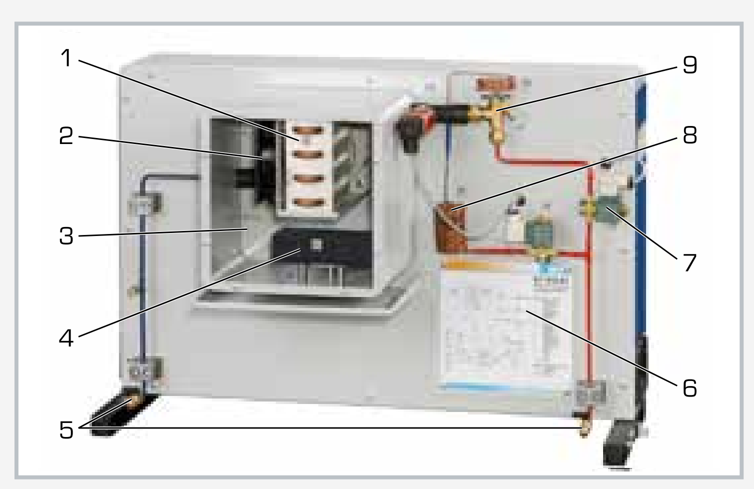
Les températures et pressions sont prises en compte dans le système par des capteurs, et représentées de manière dynamique sur le logiciel. L'influence des modifications de paramètres peut être suivie en ligne sur le diagramme log p,h.

Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.01. Une évaluation de performance contrôle le progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique simple
- faire connaissance avec les différents éléments d'expansion
  - fonctionnement avec tube capillaire
  - fonctionnement avec soupape de détente
- comportement en service sous charge
- cycle frigorifique sur le diagramme log p,h
- simulation de pannes

ET 915.01
Modèle réfrigérateur



1 évaporateur, 2 ventilateur, 3 chambre de refroidissement, 4 dispositif de chauffage, 5 raccords à l'ET 915, 6 schéma de processus, 7 électrovanne, 8 tube capillaire, 9 soupape de détente

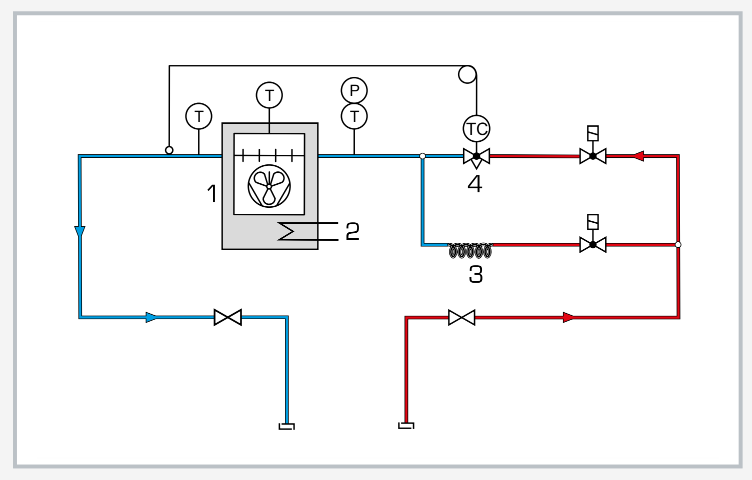
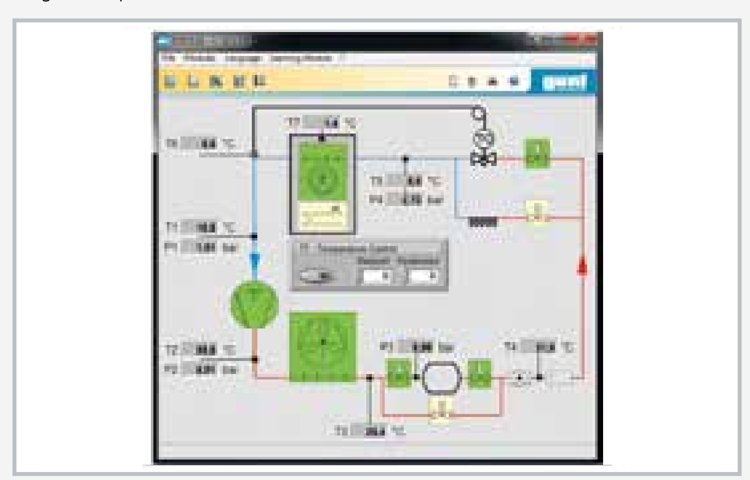


Schéma de processus du modèle de réfrigérateur: 1 évaporateur, 2 dispositif de chauffage, 3 tube capillaire, 4 soupape de détente; T température, P pression; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] modèle d'un réfrigérateur à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercice GUNT avec technologie HSI
[3] chambre de refroidissement avec évaporateur, ventilateur et charge de refroidissement
[4] chambre avec front transparent
[5] dispositif de chauffage électrique pour la production d'une charge de refroidissement
[6] éléments d'expansion pouvant être sélectionnés par électrovannes: soupape de détente ou tube capillaire
[7] capteur d'acquisition de température et de pression
[8] commande des électrovannes, du ventilateur, du dispositif de chauffage et simulation des pannes par le logiciel
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Chambre de refroidissement, Lxlxh: 270x270x220mm
Dispositif de chauffage électrique PTC comme charge de refroidissement: 210W
Tube capillaire: longueur 2m

Plages de mesure
- température: 3x -50...50°C
- pression: -1...9bar

Lxlxh: 850x380x550mm
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

1 modèle de réfrigérateur, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB

ET 915.02
Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation



L'illustration montre un appareil similaire.

Description

- **montage en série et en parallèle d'évaporateurs**
- **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.02 est une partie du système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel d'installation frigorifique fonctionnel avec niveaux de réfrigération normale et de congélation est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet.

Il est préférable de monter les évaporateurs en parallèle dans les combinaisons de refroidissement et de congélation. Les évaporateurs seront montés en série si l'on désire augmenter la puissance frigorifique. Il est possible d'atteindre différents domaines de température pour geler ou congeler, grâce à des niveaux différents de pression dans les évaporateurs.

L'ET 915.02 contient deux chambres de refroidissement séparées avec évaporateur et éléments d'expansion. Les évaporateurs peuvent être utilisés au choix en montage en série ou en parallèle. Deux ventilateurs font office de soutien pour atteindre une répartition uniforme de la température. Il est possible de simuler des charges de refroidissement avec les dispositifs de chauffage. Une des chambres de refroidissement peut être utilisée au choix avec une soupape de détente ou un tube capillaire comme élément d'expansion. Les différents modes de fonctionnement peuvent être ajustés par des électrovannes. Un régulateur de pression d'évaporation permet un ajustage indépendant du niveau de température dans la chambre haute en cas de montage en parallèle. Tous les composants sont disposés de manière visible sur le panneau.

La commande des composants individuels de l'installation, ici la régulation de température, le ventilateur, le dispositif de chauffage, le compresseur et l'électrovanne, se produit par le logiciel. Le logiciel offre la possibilité de simuler des pannes.

Les températures et pressions sont prises en compte dans le système par des capteurs, et représentées de manière dynamique sur le logiciel. L'influence des modifications des paramètres peut être suivie en ligne sur le diagramme log p,h.

Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.02. Une évaluation de performance contrôle le progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

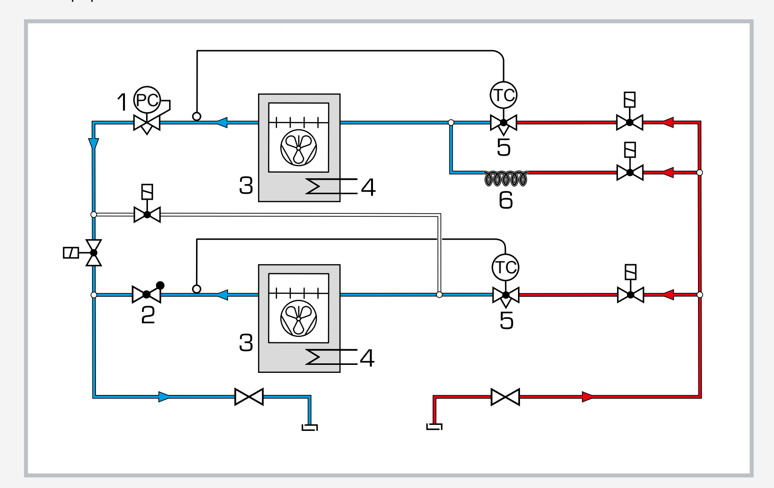
Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique à deux évaporateurs
- montage en série et en parallèle de 2 évaporateurs
- faire connaissance avec les différents éléments d'expansion
  - fonctionnement avec tube capillaire
  - fonctionnement avec soupape de détente
- comportement en service sous charge
- cycle frigorifique sur le diagramme log p,h
- influence de la pression d'évaporation
- simulation de pannes

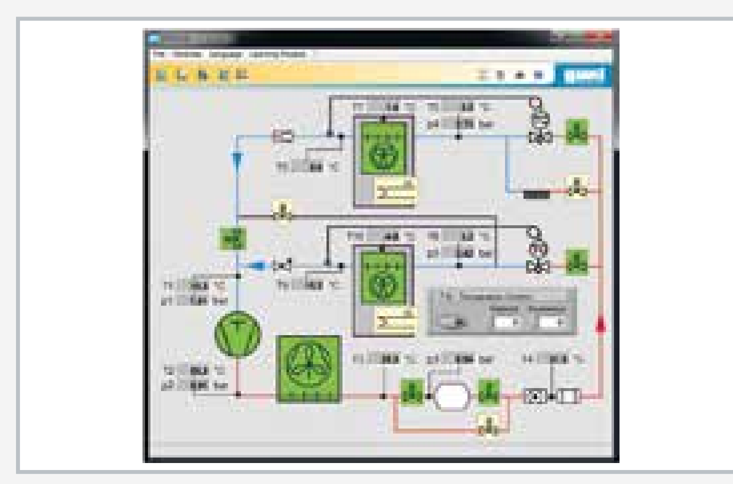
ET 915.02
Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation



1 régulateur de pression d'évaporation, 2 évaporateur, 3 ventilateur, 4 dispositif de chauffage, 5 raccords à l'ET 915, 6 schéma de processus, 7 tube capillaire, 8 électrovanne, 9 soupape de détente



Modèle d'installation frigorifique, évaporateurs montés en parallèle:
1 régulateur de pression d'évaporation, 2 soupape de retenue, 3 évaporateur, 4 dispositif de chauffage, 5 soupape de détente, 6 tube capillaire;
T température, P pression; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] modèle d'une installation frigorifique à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercice GUNT avec technologie HSI
[3] chaque chambre de refroidissement contient: évaporateur avec ventilateur (pour la circulation de l'air) et dispositif de chauffage pour production d'une charge de refroidissement
[4] chambre de refroidissement avec front transparent
[5] régulateur de pression d'évaporation ajustable
[6] élément d'expansion au choix: soupape de détente ou tube capillaire
[7] modes de fonctionnement de l'installation configurable par 5 électrovannes
[8] capteur d'acquisition de température et de pression
[9] commande des électrovannes, du ventilateur, du dispositif de chauffage et simulation de pannes par le logiciel
[10] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[11] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Chambre de refroidissement
- Lxlxh: 270x270x220mm

Dispositif de chauffage électrique PTC comme charge de refroidissement: 210W
Tube capillaire: longueur 2m
Régulateur de pression d'évaporation: 0...5,5bar

Plages de mesure
- température: 6x ±50°C
- pression: 2x -1...9bar

Lxlxh: 850x380x750mm
Poids: env. 45kg

Liste de livraison

1 modèle d'installation frigorifique, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB

5

Applications thermodynamiques en CVC

Introduction

Aperçu Applications thermodynamiques en CVC	234

Production d'eau chaude

Connaissances de base Chauffage central à eau chaude	236
HL 352 Banc d'essai pour brûleurs à fioul, à gaz naturel et à gaz propane	238
HL 352.01 Brûleur à fioul	240
HL 352.02 Brûleur à gaz naturel	241
HL 352.03 Brûleur à gaz propane	242
Connaissances de base Énergie solaire thermique	244
Aperçu ET 202 Bases de l'héliothermie	246
ET 202 Principes de base de l'héliothermie	248
HL 313 Chauffage d'eau sanitaire avec capteur plan	250
Connaissances de base Géothermie de surface	252
ET 262 Sonde géothermique avec principe du heatpipe	254
ET 264 Exploitation de la géothermie avec un système à deux puits	256
Connaissances de base Pompe à chaleur	258
ET 102 Pompe à chaleur	260
ET 405 Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage	262
Aperçu ET 420 Accumulateurs de glace en génie frigorifique	264
ET 420 Accumulateurs de glace en génie frigorifique	268

Génie climatique et technique de ventilation

Connaissances de base Systèmes de ventilation et leurs composants	270
HL 720 Installation de ventilation	272
Connaissances de base Bases de climatisation	274
Connaissances de base Assemblage d'une installation de climatisation	276
Aperçu ET 620 Installation de climatisation et de ventilation	278
ET 620 Installation de climatisation et de ventilation	280
Aperçu ET 915 Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique	282
ET 915.06 Modèle d'installation de climatisation simple	284
ET 915.07 Modèle de climatisation	286
Aperçu ET 605 Modèle d'installation de climatisation et des solutions d'automatisation	288
ET 605 Modèle d'installation de climatisation	290

GUNT-RHLine Renewable Heat

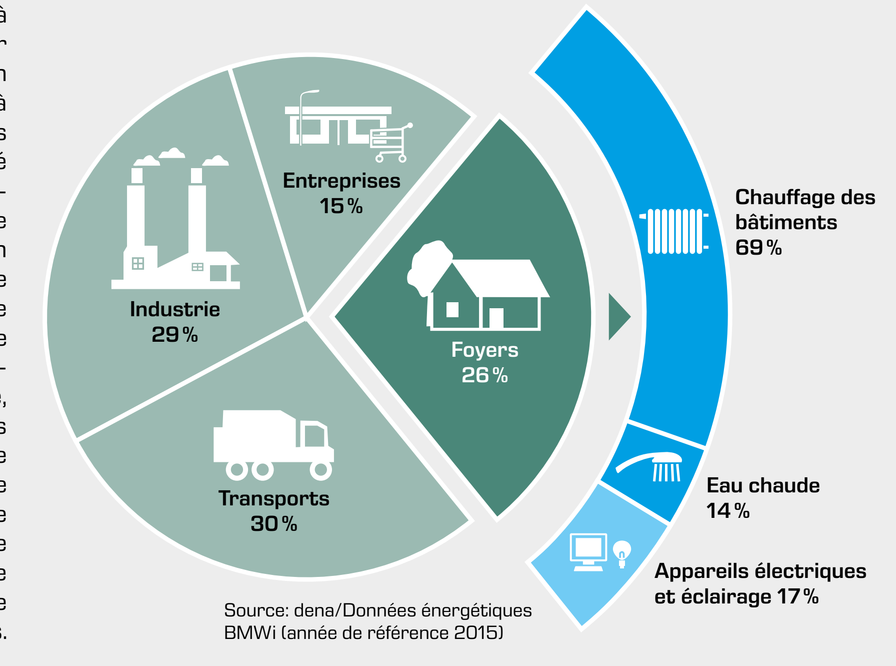
Aperçu GUNT-RHLine Renewable Heat Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur	292
HL 320.01 Pompe à chaleur	304
HL 320.02 Chauffage conventionnel	306
HL 320.03 Capteur plan	308
HL 320.04 Capteur à tubes sous vide	310
HL 320.05 Module de réservoir central avec régulateur	312
HL 320.07 Chauffage au sol/absorbeur géothermique	314
HL 320.08 Ventilateur de chauffage/échangeur de chaleur à air	316



Applications thermodynamiques en CVC

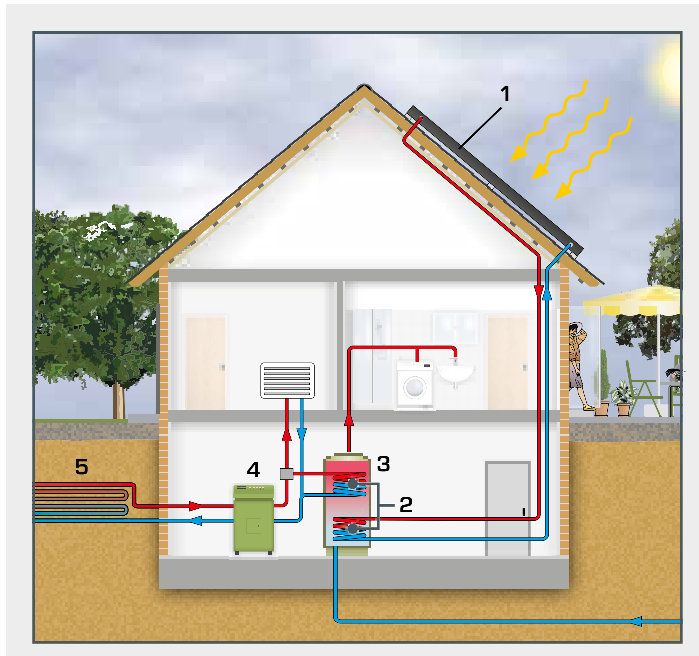
Efficacité énergétique en ingénierie de bâtiment

Une grande partie de l'énergie exploitée à l'échelle mondiale est utilisée pour alimenter les bâtiments. En augmentant l'efficacité, on peut contribuer de manière significative à réduire les besoins en énergie primaire. Les mesures permettant d'augmenter l'efficacité énergétique des bâtiments concernent pratiquement tous les domaines de l'ingénierie de bâtiment moderne. En plus de l'utilisation des appareils électriques, de l'éclairage et de la préparation d'eau chaude, cela concerne aussi tout particulièrement l'utilisation de l'approvisionnement en chaleur et la climatisation. Selon l'emplacement géographique, le dimensionnement des installations dans le domaine de l'ingénierie de bâtiment se concentre sur les besoins de chauffage ou de refroidissement, en tenant toujours compte des deux aspects. Le diagramme ci-contre montre, en prenant l'Allemagne comme exemple, qu'une grande partie de l'énergie est utilisée pour le chauffage des bâtiments.



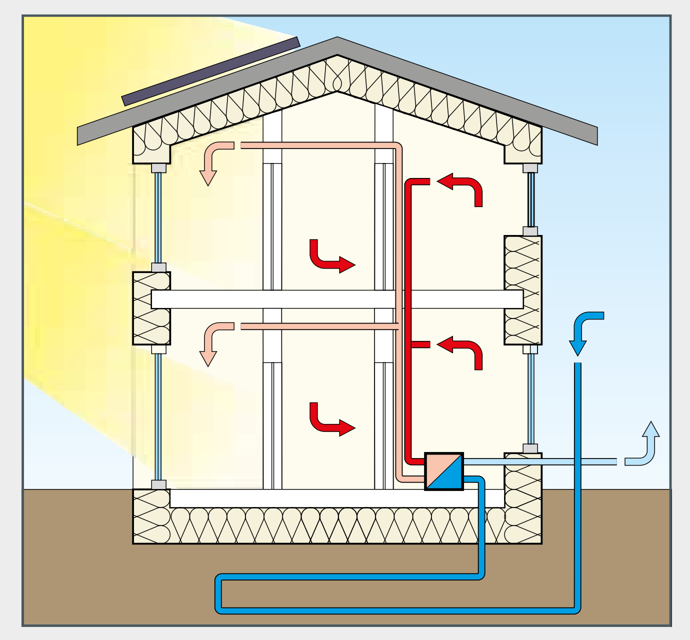
Source: dena/Données énergétiques BMWi (année de référence 2015)

Composants utilisés pour l'exploitation combinée de sources de chaleur renouvelables dans l'alimentation domestique



Composants utilisés pour l'exploitation combinée de sources de chaleur renouvelables dans l'alimentation domestique

1 capteur plan, **2** échangeur de chaleur, **3** réservoir d'eau chaude, **4** pompe à chaleur, **5** absorbeur géothermique;
liquide caloporteur chaud,
liquide caloporteur froid



Ventilation avec récupération de la chaleur

air extérieur: air aspiré de l'environnement,
air rejeté: air libéré dans l'environnement,
air amené: air entrant dans une pièce ou une installation après traitement, p.ex. par filtration ou chauffage
air extrait: air quittant une pièce

Mesures constructives et techniques pour économiser les ressources

La baisse des besoins en énergie primaire des bâtiments passe par des mesures constructives et techniques. Parmi les mesures constructives, on peut citer par exemple l'isolation thermique, et la mise en œuvre de façades transparentes dans les régions froides. Dans les régions chaudes, une attention particulière est portée à l'ombrage et à l'isolation contre le rayonnement thermique. Ce domaine occupe une place toujours plus importante, en particulier dans la formation des architectes, urbanistes et ingénieurs en génie civil.

Des composants et installations efficaces, commandés à l'aide de techniques modernes de gestion des bâtiments, sont au cœur des mesures techniques d'optimisation de l'alimentation en énergie. En intégrant les concepts modernes de couplage chaleur-force, de réseaux d'alimentation décentralisés et d'accumulation de l'énergie, il est possible d'obtenir une production et une distribution d'énergie adaptée aux besoins.



Les normes d'efficacité énergétique en ingénierie de bâtiment



Le Parlement européen a voté des directives sur l'efficacité énergétique des bâtiments. Voici un extrait de la directive 2010/31/UE du Parlement européen du 19 mai 2010 sur l'efficacité énergétique des bâtiments:

> [...] (3) Les bâtiments représentent 40 % de la consommation énergétique totale de l'Union. Ce secteur est en expansion, ce qui devrait faire augmenter sa consommation d'énergie. Par conséquent, la réduction de la consommation d'énergie et l'utilisation d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans le secteur du bâtiment constituent des mesures importantes qui sont nécessaires pour réduire la dépendance énergétique de l'Union et les émissions de gaz à effet de serre. Associées à l'utilisation accrue d'énergie produite à partir de sources renouvelables, les mesures prises pour réduire la consommation d'énergie dans l'Union permettraient à l'Union de se conformer au protocole de Kyoto sur la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). [...]

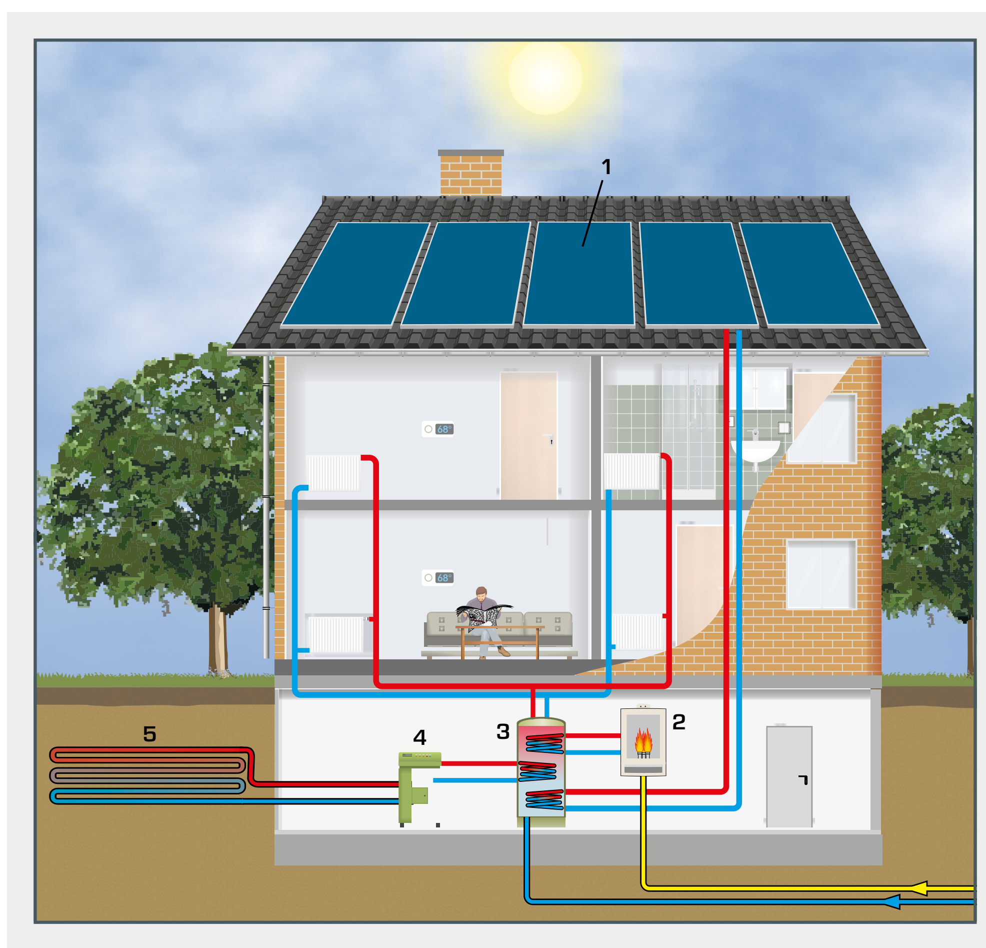
Dans le cadre de la mise en œuvre de la directive UE sur l'efficacité énergétique des bâtiments en Allemagne, un passeport énergétique leur attribue une classe d'efficacité énergétique (de A à G), conformément au décret allemand sur les économies d'énergie (EnEV). La classification est effectuée en fonction des besoins spécifiques en énergies primaires et énergies finales. Les maisons passives très efficaces ont un besoin annuel en énergie largement inférieur à 50 kWh/m².

Connaissances de base

Chauffage central à eau chaude

Un système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire remplit quatre fonctions:

- la production centrale d'eau chaude
- le transport de l'eau chaude
- le transfert de chaleur dans les pièces
- la commande et la régulation de la température



1 capteur plan, **2** chaudière de chauffage, **3** réservoir d'eau chaude, **4** pompe à chaleur, **5** absorbeur géothermique;
liquide caloporteur chaud, liquide caloporteur froid, apport de combustibles



Le dimensionnement des systèmes de tuyauterie pour le transport d'eau chaude nécessite des connaissances en mécanique des fluides, p.ex. sur les grandeurs caractéristiques des pompes et les pertes par frottement, ou les pertes de charge dans les éléments de tuyauterie.

GUNT traite ces aspects dans la gamme de produits 4 intitulée **"Génie mécanique des fluides".**



Une technique de régulation adaptée garantit un climat ambiant agréable tout au long de l'année.



Les systèmes modernes permettent de commander à distance l'installation de chauffage.

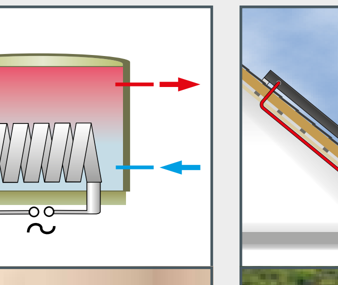


Selon les besoins et la taille de la pièce, il existe différentes possibilités pour transférer la chaleur vers la pièce.

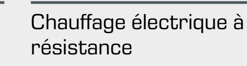
Production d'eau chaude



Chaudière de chauffage au fioul, au gaz ou au bois







Chauffage électrique à résistance

Héliothermie



Pompe à chaleur

Eau chaude

Eau comme agent caloporteur

Avantages

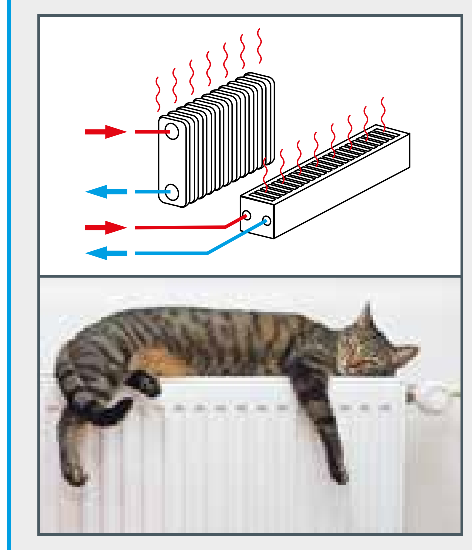
- capacité thermique élevée
- économique et facile d'accès
- non toxique et écologique

Inconvénients

- à température ambiante, plage de température limitée à 0...100°C
- corrosive en présence d'oxygène

Eau froide

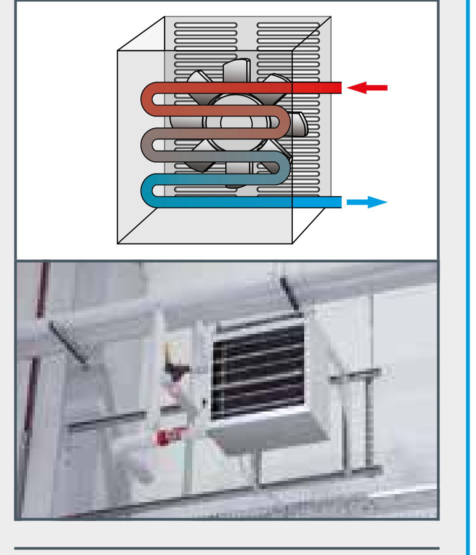
Transfert de chaleur dans les pièces



Radiateur fonctionnant par convection naturelle



Chauffage au sol ou au mur par convection naturelle



Réchauffeur d'air fonctionnant par convection forcée

HL 352
Banc d'essai pour brûleurs à fioul, à gaz naturel et à gaz propane



L'illustration montre le banc d'essai avec l'accessoire HL 352.01 Brûleur à fioul

Contenu didactique/essais

- construction et comportement en service d'une chaudière de chauffage
- comparaison de brûleurs (3 brûleurs différents disponibles en option)
- modification des ajustages en cours de fonctionnement et observation des effets sur l'apparence de la flamme
- mesures de température à différents endroits de la chambre de combustion
- mesures de la pression du fioul au niveau du brûleur et observation des effets sur l'apparence de la flamme
- bilan thermique
- calcul de la puissance thermique d'une chaudière de chauffage
- fonctionnement d'un échangeur de chaleur à plaques

Description

- **étude de brûleurs à gaz et à fioul**
- **fenêtre pour observation de l'apparence de la flamme**

Les installations de chauffage central à eau chaude utilisent des brûleurs à gaz ou à fioul pour la production de chaleur. Les brûleurs transforment l'énergie chimique des combustibles en énergie thermique. Les brûleurs se distinguent principalement par leur construction. Parmi les brûleurs à fioul, on trouve p.ex. le brûleur à vaporisation de fioul, ou le brûleur à flamme bleue. Les brûleurs à gaz peuvent avoir la forme de brûleurs pulsés qui sont optimisés pour différents gaz selon le fluide de chauffage.

Le banc d'essai HL 352 permet d'étudier les brûleurs à gaz et à fioul, et de comparer leurs bilans thermiques. Le banc d'essai est constitué d'une chaudière de chauffage, d'un régulateur de chauffage et d'un chauffe-eau sanitaire. Comme brûleurs, on dispose des accessoires HL 352.01 Brûleur à fioul, HL 352.02 Brûleur à gaz naturel et HL 352.03 Brûleur à gaz propane. Le gaz de fumée peut être étudié en utilisant le HL 860 Appareil d'analyse des fumées. Le banc d'essai est fourni avec un réservoir de fioul de chauffage.

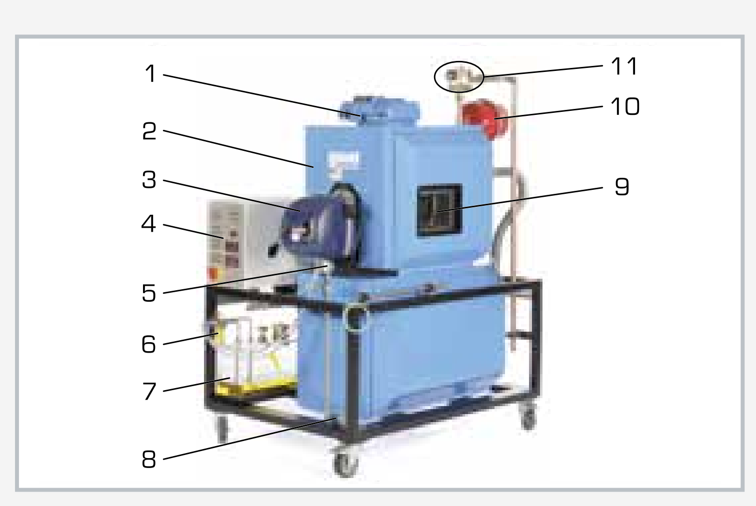
Le corps de la chaudière a la particularité d'être pourvu d'une fenêtre qui permet d'observer la flamme et d'évaluer spontanément le bon ajustage du brûleur.

Le banc d'essai est équipé des dispositifs de sécurité prescrits. Un réservoir d'eau sanitaire chauffé sert de deuxième consommateur de chaleur.

Outre la pression du fioul, toutes les températures pertinentes, les débits d'eau, ainsi que la température de la chambre de combustion, sont mesurés. Les données de mesure permettent d'établir un bilan thermique et de calculer l'efficacité énergétique.

Un circuit chauffant intégré avec un échangeur de chaleur à plaques simule un circuit de chauffage. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

HL 352
Banc d'essai pour brûleurs à fioul, à gaz naturel et à gaz propane



1 régulateur de chauffage, 2 chaudière de chauffage, 3 brûleur à fioul HL 352.01 (non compris dans la liste de livraison), 4 armoire de commande avec affichages numériques et champ de commande, 5 pression de gaz du manomètre, 6 filtre à fioul à deux branches, 7 réservoir de fioul avec robinetteries, 8 raccord de gaz, 9 fenêtre sur la chaudière de chauffage, 10 réservoir de dilatation 11 groupe de sécurité pour chaudières

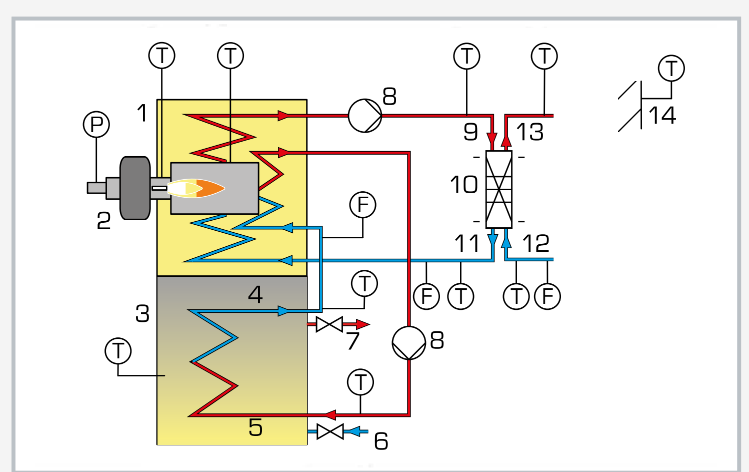
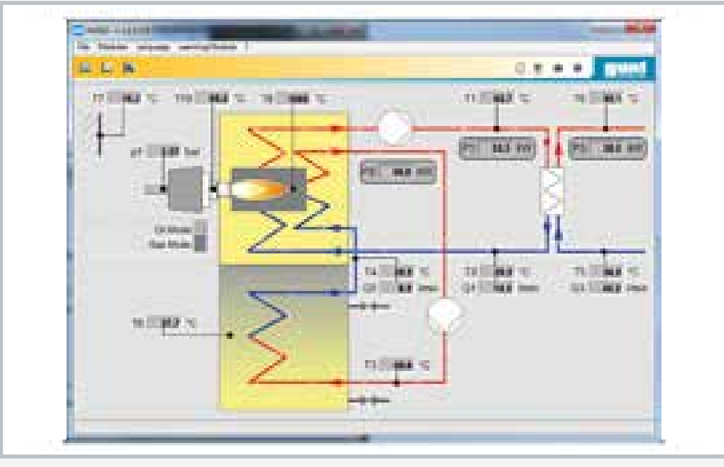


schéma de processus: 1 chaudière de chauffage, 2 brûleur, 3 chauffe-eau sanitaire, 4 circuit sortant du chauffe-eau sanitaire, 5 circuit entrant du chauffe-eau sanitaire, 6 raccord d'eau froide, 7 évacuation d'eau chaude, 8 pompe de circulation, 9 circuit entrant du circuit de chauffage, 10 échangeur de chaleur à plaques, 11 circuit sortant du circuit de chauffage, 12 raccord d'eau froide, 13 évacuation d'eau de refroidissement, 14 capteur de température extérieur



Capture d'écran du logiciel

Spécification

[1] comparaison de brûleurs
[2] brûleur à fioul, brûleur à gaz naturel et brûleur à gaz propane disponibles comme accessoires
[3] fonctionnement d'une chaudière de chauffage
[4] corps de chaudière avec fenêtre en verre spécial
[5] chauffe-eau sanitaire avec pompe de circulation
[6] réservoir de fioul transparent avec tubulures de remplissage et de purge d'air
[7] affichages numériques pour les capteurs de pression d'admission du fioul, les capteurs de température et de débit
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Chaudière
- puissance nominale: 18kW
- régulateur avec limiteur de température

Pompe de circulation
- puissance absorbée max.: 70W
- débit de refoulement max.: 45L/min
- hauteur de refoulement max.: 4m

Échangeur de chaleur à plaques: 10 plaques

Groupe de sécurité pour chaudières selon DIN 4751
- 3bar
- 50kW

Chauffe-eau sanitaire: 160L
Réservoir de fioul transparent: 15L

Plages de mesure
- pression du fioul: 0...16bar
- pression du gaz (buse): 0...10mbar
- température: 1x 0...1.500°C / 9x 0...100°C
- débit: 3...60L/min (eau)
- débit: 0...40L/min (huile)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x1440x1920mm
Poids: env. 377kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, ventilation, évacuation des gaz d'échappement, PC avec Windows

Liste de livraison

1 banc d'essai sans brûleur
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

HL 352.01
Brûleur à fioul



L'illustration montre un appareil similaire.

Contenu didactique/essais

- étude d'un brûleur à fioul
- bilan thermodynamique

Spécification

[1] brûleur à fioul pour montage sur le banc d'essai HL 352
[2] alimentation en combustible par le banc d'essai HL 352
[3] capteurs et affichages numériques pour la pression d'admission du fioul, les températures et le débit sur le banc d'essai HL 352

Caractéristiques techniques

Brûleur à fioul
- puissance max.: 18kW

Lxlxh: 800x400x400mm
Poids: env. 11kg

Nécessaire pour le fonctionnement

Fioul

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 notice

Description

- **brûleur à fioul pour intégration au banc d'essai HL 352**
- **brûleur à flamme bleue**

On distingue deux types de brûleurs à fioul: les brûleurs à flamme jaune et les brûleurs à flamme bleue. Dans le cas des brûleurs à flamme jaune, le fioul est uniquement pulvérisé avant la combustion, tandis que sur les brûleurs à flamme bleue, le fioul est vaporisé et une partie des gaz d'échappement chauds est reconduite à la racine de la flamme du brûleur. Sur les brûleurs à flamme bleue, la combustion s'effectue à l'état gazeux, ce qui produit justement la flamme bleue. La combustion est plus propre lorsque la teneur en oxyde d'azote est faible, et la teneur en monoxyde d'azote très faible dans les gaz d'échappement.

Le brûleur à fioul HL 352.01 correspond au type de brûleur à flamme bleue couramment utilisé dans les maisons individuelles.

Le banc d'essai HL 352 permet de mesurer les températures et pressions importantes qui sont alors à disposition pour la réalisation des calculs. Les données de mesure permettent d'établir un bilan thermique et de calculer l'efficacité énergétique.

HL 352.02
Brûleur à gaz naturel



L'illustration montre un appareil similaire.

Contenu didactique/essais

- étude d'un brûleur à gaz naturel
- bilan thermodynamique

Spécification

[1] brûleur à gaz naturel pour montage sur le banc d'essai HL 352
[2] flexibles avec raccords et régulateur de pression de gaz pour l'alimentation en combustible
[3] capteurs et affichages numériques pour la pression de gaz, les températures et le débit sur le banc d'essai HL 352

Caractéristiques techniques

Brûleur à gaz naturel
- puissance max.: 15kW

Lxlxh: 800x400x400mm
Poids: env. 11kg

Nécessaire pour le fonctionnement

Raccord de gaz naturel

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 notice

Description

- **brûleur à gaz naturel pour montage sur le banc d'essai HL 352**
- **brûleur à gaz pulsé**

Sur les brûleurs à gaz pulsé, il est possible de doser avec précision le ratio entre air de combustion et quantité de gaz. L'air de combustion est amené par un ventilateur, ce qui rend le processus de combustion moins dépendant des conditions ambiantes que dans le cas du tirage de cheminée. La précision du dosage permet de faire fonctionner le brûleur avec un petit surplus d'air, ce qui permet d'obtenir un bon rendement de combustion.

Les brûleurs à gaz pulsé peuvent être utilisés aussi bien pour le gaz naturel H/L que pour le biogaz ou le gaz liquéfié. Ils présentent un raccord et des flexibles de gaz différents, un régulateur de pression différent, et les ajustages du brûleur divergent également.

Le HL 352.02 est ajusté en usine pour une utilisation avec du gaz naturel.

Le brûleur à gaz naturel HL 352.02 correspond au type de brûleur à gaz pulsé couramment utilisé dans les maisons d'habitation.

Le banc d'essai HL 352 permet de mesurer les températures et pressions importantes qui sont alors à disposition pour la réalisation des calculs. Les données de mesure permettent d'établir un bilan thermique et de calculer l'efficacité énergétique.

HL 352.03
Brûleur à gaz propane



L'illustration montre un appareil similaire.

Description

- **brûleur à gaz propane pour montage sur le banc d'essai HL 352**
- **brûleur à gaz pulsé**

Sur les brûleurs à gaz pulsé, il est possible de doser avec précision le ratio entre air de combustion et quantité de gaz. L'air de combustion est amené par un ventilateur, ce qui rend le processus de combustion moins dépendant des conditions ambiantes, que dans le cas du tirage de cheminée. La précision du dosage permet de faire fonctionner le brûleur avec un petit surplus d'air, ce qui permet d'obtenir un bon rendement de combustion.

Les brûleurs à gaz pulsé peuvent être utilisés aussi bien pour le gaz naturel H/L que pour le biogaz ou le gaz liquéfié. Ils présentent un raccord et des flexibles de gaz différents, un régulateur de pression différent, et les ajustages du brûleur divergent également.

Le HL 352.03 est ajusté en usine pour une utilisation avec du gaz liquéfié ou du gaz propane.

Le brûleur à gaz propane HL 352.03 correspond au type de brûleur à gaz pulsé couramment utilisé dans les maisons d'habitation.

Le banc d'essai HL 352 permet de mesurer les températures et pressions importantes qui sont alors à disposition pour la réalisation des calculs. Les données de mesure permettent d'établir un bilan thermique et de calculer l'efficacité énergétique.

Contenu didactique/essais

- étude d'un brûleur à gaz propane
- bilan thermodynamique

Spécification

[1] brûleur à gaz propane pour montage sur le banc d'essai HL 352
[2] flexibles avec raccords et régulateur de pression de gaz pour l'alimentation en combustible
[3] capteurs et affichages numériques pour la pression de gaz, les températures et le débit sur le banc d'essai HL 352

Caractéristiques techniques

Brûleur à gaz propane
- puissance max.: 18kW

Lxlxh: 800x400x400mm
Poids: env. 11kg

Nécessaire pour le fonctionnement

Raccord de gaz propane

Liste de livraison

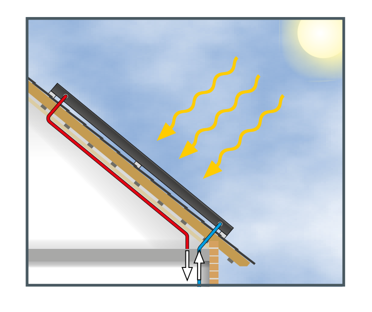
1 appareil d'essai
1 notice



Connaissances de base

Énergie solaire thermique

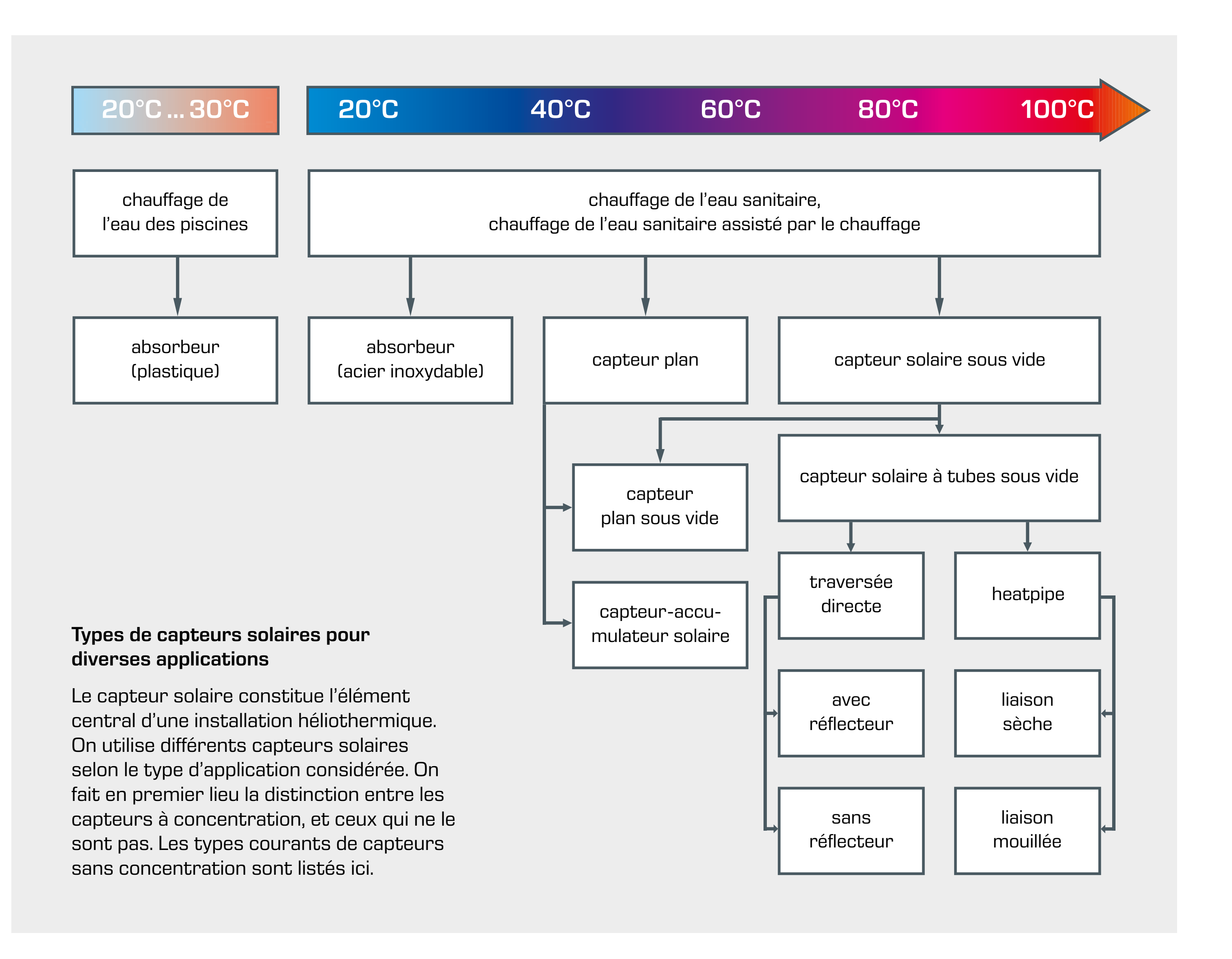
L'héliothermie est l'exploitation de l'énergie solaire pour la mise à disposition de chaleur. La chaleur peut être utilisée pour le chauffage et le chauffage de l'eau sanitaire, mais aussi en tant que chaleur de processus, pour générer de la vapeur dans les centrales électriques et même pour refroidir.





Applications typiques des capteurs solaires héliothermiques:

- chauffage de l'eau des piscines
- chaleur à basse température pour le chauffage de locaux
- chauffage de l'eau sanitaire
- chaleur de processus
- production d'électricité

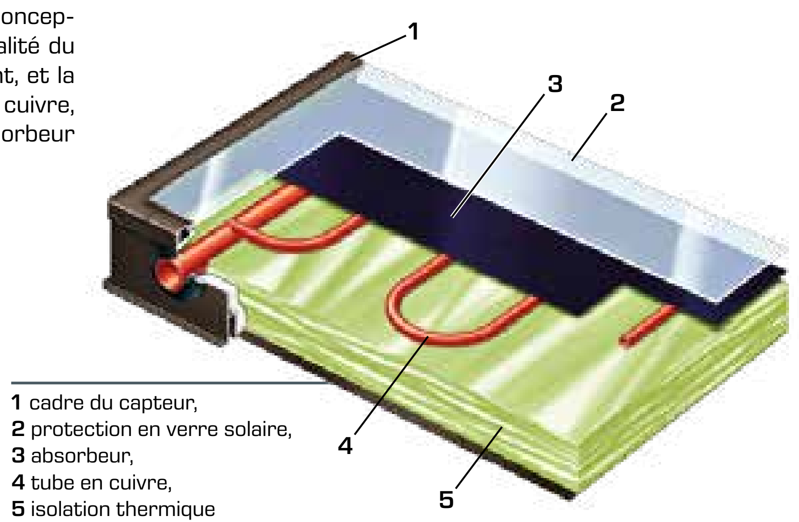


Types de capteurs solaires pour diverses applications

Le capteur solaire constitue l'élément central d'une installation héliothermique. On utilise différents capteurs solaires selon le type d'application considérée. On fait en premier lieu la distinction entre les capteurs à concentration, et ceux qui ne le sont pas. Les types courants de capteurs sans concentration sont listés ici.

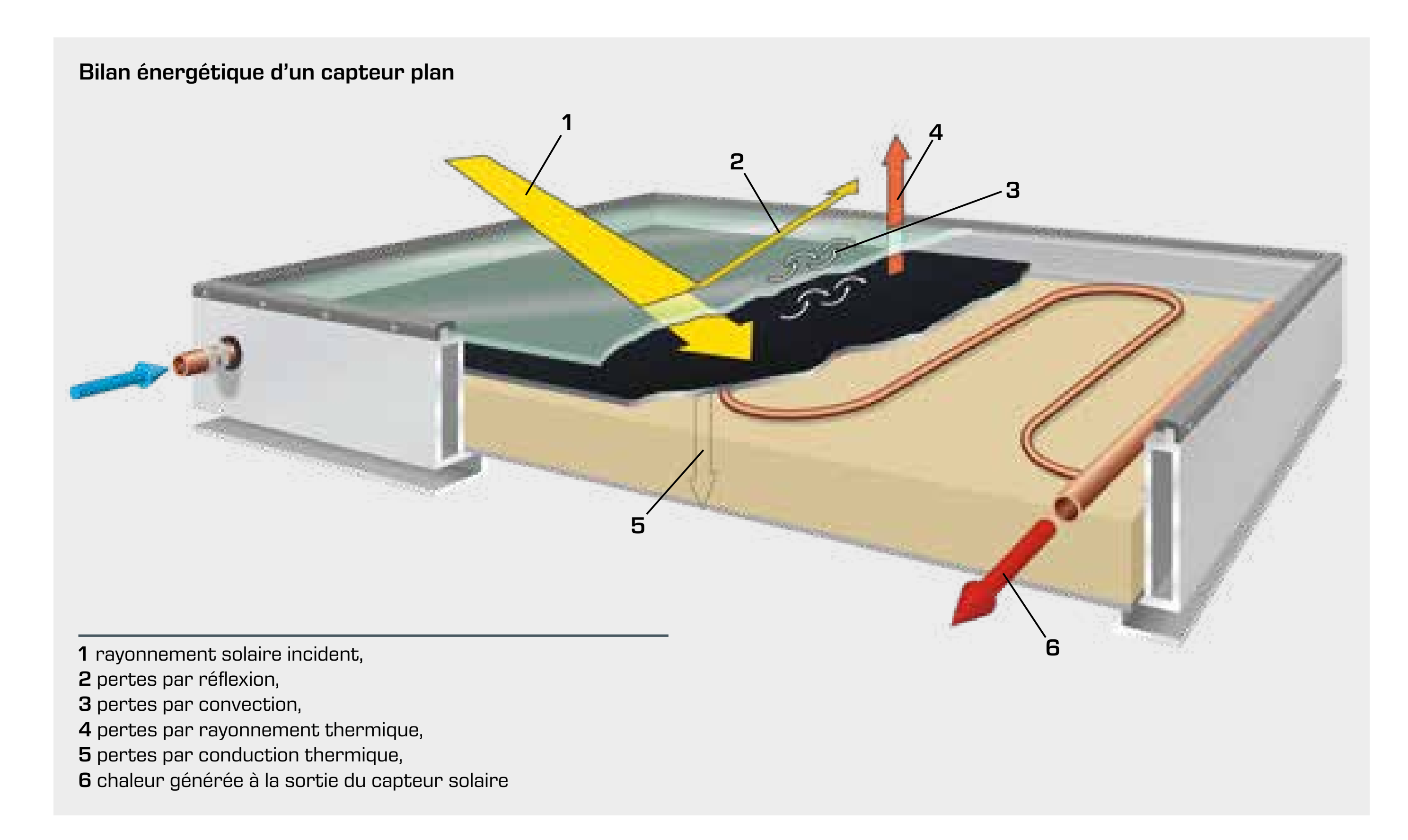
Capteur plan

Le capteur plan est un type de capteur très répandu. Il offre un compromis équilibré entre construction simple et économique d'une part, et efficacité d'autre part. La face arrière est isolée contre les pertes de chaleur. Le tube en cuivre peut être guidé de différentes manières à travers le capteur. Lors de la conception, il s'agit de trouver un bon compromis entre la qualité du transfert de chaleur convectif via l'écoulement turbulent, et la limitation de la perte de charge. L'absorbeur peut être en cuivre, en aluminium ou en acier. La coloration sombre de l'absorbeur est due à son revêtement sélectif. La protection est constituée de verre solaire de haute qualité, pauvre en fer, et doté d'un facteur d'absorption faible.



1 cadre du capteur,
2 protection en verre solaire,
3 absorbeur,
4 tube en cuivre,
5 isolation thermique

Bilan énergétique d'un capteur plan



1 rayonnement solaire incident,
2 pertes par réflexion,
3 pertes par convection,
4 pertes par rayonnement thermique,
5 pertes par conduction thermique,
6 chaleur générée à la sortie du capteur solaire

Minimisation des pertes

L'un des objectifs principaux des capteurs modernes consiste à minimiser les pertes. Les parts respectives des types principaux de pertes dans l'utilisation thermique de l'énergie solaire avec des capteurs solaires plans sont représentées de manière schématique dans l'illustration ci-dessus.



ET 202 Bases de l'héliothermie

L'ET 202 est un appareil sur la thématique de l'héliothermie; il permet la réalisation d'essais systématiques avec une installation héliothermique avec capteur plan.

Ce banc d'essai peut être utilisé pour étudier les principales grandeurs d'influence du chauffage héliothermique de l'eau sanitaire. Pour ce faire, l'ET 202 comprend un modèle fonctionnel d'installation héliothermique. Le banc d'essai est équipé d'un module d'éclairage afin de permettre la réalisation des essais, indépendamment des conditions météorologiques. Ce module d'éclairage simule le rayonnement naturel du soleil.

La lumière est transformée en chaleur dans un absorbeur et transmise à un liquide caloporteur. Une pompe transporte le liquide caloporteur à travers une unité de stockage. Là, la chaleur est transmise au contenu de l'unité de stockage par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur intégré.

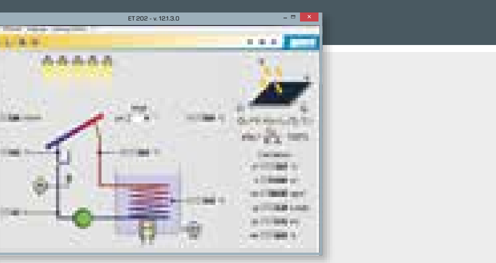
Le capteur plan est pourvu d'une protection en verre amovible et d'un absorbeur échangeable afin de permettre l'étude des pertes.



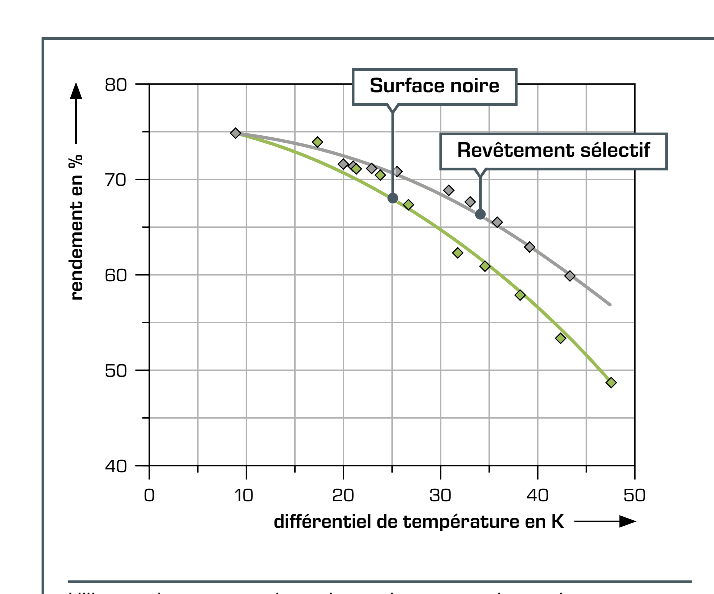
Logiciel GUNT pour l'acquisition de données

Le logiciel ET 202 affiche les valeurs actuelles dans un diagramme du système, et permet d'enregistrer des points de mesure individuels ou des intervalles de temps.

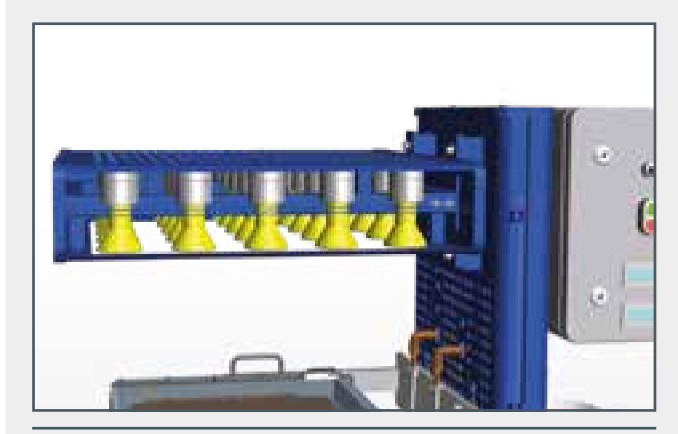
Cependant, des affichages numériques situés sur l'appareil permettent également une utilisation sans PC.



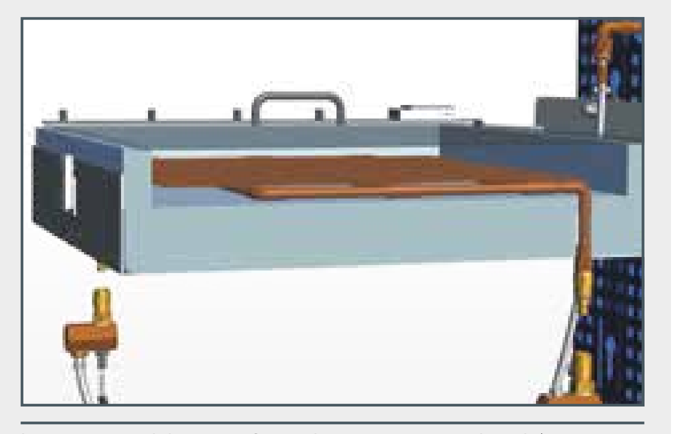
- structure et fonctionnement d'une installation héliothermique simple
- détermination de la puissance utile
- bilan énergétique du capteur solaire
- influence de l'éclairement, de l'angle de rayonnement et du débit
- rendement en fonction du différentiel de température
- influence de différentes surfaces d'absorbeurs



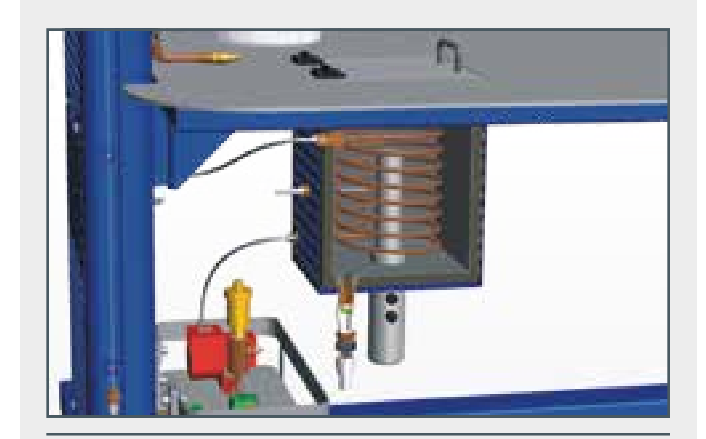
L'illustration montre des valeurs de mesure du rendement en fonction de la température du capteur solaire. Un revêtement spécial de l'absorbeur permet d'atteindre des rendements plus élevés.



Le module d'éclairage garantit une illumination uniforme. La composition spectrale de la lumière est similaire à celle du rayonnement solaire naturel.



Le capteur solaire transforme le rayonnement absorbé en chaleur exploitable. Les composantes de l'isolation et de l'absorbeur sont faciles à démonter.



L'échangeur de chaleur est intégré au réservoir de l'unité de stockage. Un dispositif de chauffage électrique est également disponible. Cela permet de réaliser différents états de fonctionnement du capteur solaire dans des délais courts.

ET 202
Principes de base de l'héliothermie



Description

■ **modèle d'une installation héliothermique**
■ **module d'éclairage permettant de ne pas dépendre des intempéries**
■ **réservoir d'eau chaude avec chauffage électrique supplémentaire**
■ **capteur solaire à plan inclinable avec absorbeurs interchangeables**

Les installations héliothermiques transforment l'énergie solaire en chaleur utile. L'ET 202 permet de montrer de manière claire le principe du chauffage héliothermique de l'eau sanitaire.

En simulant le rayonnement solaire naturel dans un module d'éclairage, il est possible d'exécuter des séries de test sans avoir à subir les intempéries. La lumière est transformée en chaleur dans un absorbeur, puis transmise à un liquide caloporteur. Une pompe assure le transport du liquide caloporteur dans un réservoir d'eau chaude. Dans le réservoir, la chaleur est libérée dans l'eau par un échangeur thermique intégré.

Le banc d'essai ET 202 permet d'étudier différents angles de rayonnement et éclairements. Pour effectuer des mesures comparatives des pertes du capteur solaire, l'absorbeur proposé avec un revêtement sélectif peut être remplacé par un absorbeur noirci plus simple. Le banc d'essai prévoit deux connecteurs pour le raccordement de consommateurs d'eau externes.

Le banc d'essai est équipé de capteurs pour enregistrer les températures importantes (entrée et sortie du capteur solaire, air environnement et réservoir) et l'éclairement.

Les valeurs mesurées sont affichées sur un appareil et peuvent être transmises simultanément à un PC par liaison USB. Les données du logiciel fourni avec l'appareil sont représentées clairement sur le PC, en vue d'un traitement ultérieur.

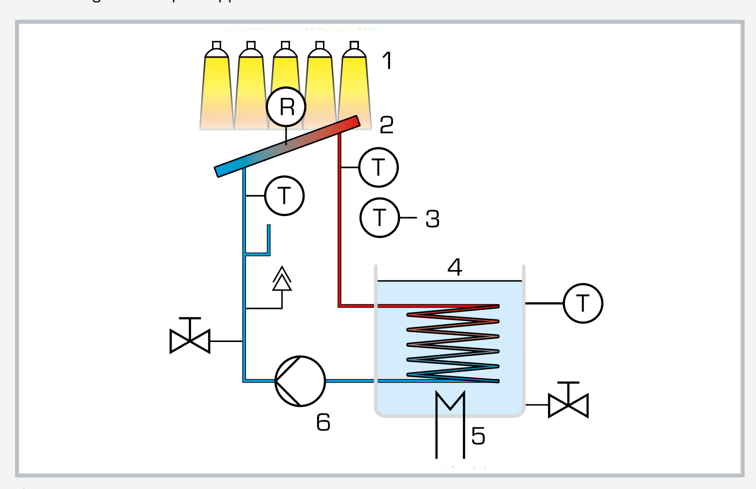
Contenu didactique/essais

■ comprendre et connaître la structure et le fonctionnement d'une installation héliothermique simple
■ détermination de la puissance utile
■ bilan énergétique du capteur solaire
■ influence de l'éclairement, de l'angle de rayonnement et du débit
■ détermination des caractéristiques du rendement
■ influence de différentes surfaces d'absorbeurs

ET 202
Principes de base de l'héliothermie



1 module d'éclairage, 2 armoire de distribution, 3 enregistreur de l'éclairement, 4 capteur solaire réglage en hauteur avec plan inclinable, 5 capteur de température, 6 réservoir, 7 chauffage électrique supplémentaire



Éléments principaux: 1 module d'éclairage, 2 capteur solaire plan, 3 capteur de température de l'air extérieur, 4 réservoir, 5 chauffage électrique supplémentaire, 6 pompe; R éclairement, T température

Spécification

[1] modèle fonctionnel d'une installation héliothermique
[2] module d'éclairage composée de 25 lampes halogènes
[3] capteur solaire à plan inclinable et réglable en hauteur
[4] 2 absorbeurs interchangeables munis de différents revêtements
[5] circuit solaire avec pompe et débit réglable
[6] réservoir d'eau chaude avec échangeur thermique à tube hélicoïdal et chauffage électrique supplémentaire
[7] capteurs mesurant la température et l'éclairement
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Capteur solaire plan
■ surface d'absorption: 320x330mm
■ angle d'inclinaison: 0...60°

Module d'éclairage
■ panneau de lampes: 25x 50W

Pompe
■ débit réglable: 0...24L/h

Plages de mesure
■ température: 4x 0...100°C
■ débit: 0...30L/h
■ éclairement: 0...3kW/m²

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1840x800x1500mm
Poids: env. 167kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 gobelet gradué
1 absorbeur
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



HL 313
Chauffage d'eau sanitaire avec capteur plan



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec le fonctionnement du capteur solaire plan et du circuit solaire
- détermination de la puissance utile
- rapport entre le débit et la puissance utile
- détermination du rendement du capteur solaire
- rapport entre la différence de température (capteur solaire / environnement) et le rendement du capteur

Description

- **transformation de l'énergie solaire en chaleur**
- **banc d'essai avec des éléments empruntés à la pratique**
- **capteur solaire à plan pivotant**
- **système avec échangeur thermique et deux circuits séparés**
- **régulateur solaire avec enregistreur de données et interface USB**

Le banc d'essai HL 313 permet de montrer les principaux aspects du chauffage de l'eau sanitaire par héliothermie. Il est constitué d'éléments empruntés à la pratique.

Le rayonnement énergétique est transformé en chaleur dans un capteur solaire plan conventionnel, qui sera appliquée à un liquide caloporteur contenu dans le circuit solaire. La chaleur est acheminée dans le circuit d'eau chaude via un échangeur thermique.

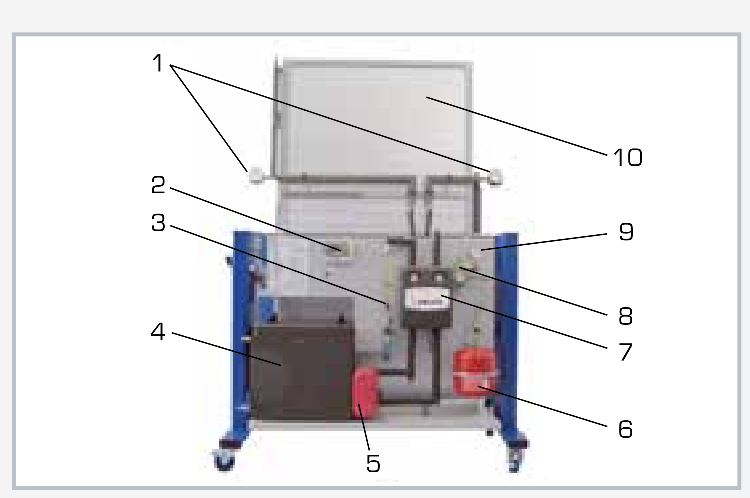
Un régulateur solaire commande les pompes du circuit d'eau chaude et du circuit solaire. Le circuit solaire est protégé par un vase d'expansion et une soupape de sûreté.

Les dimensions du banc d'essai sont telles qu'il est possible de procéder à une opération complète de chauffage dans le cadre d'un essai pratique.

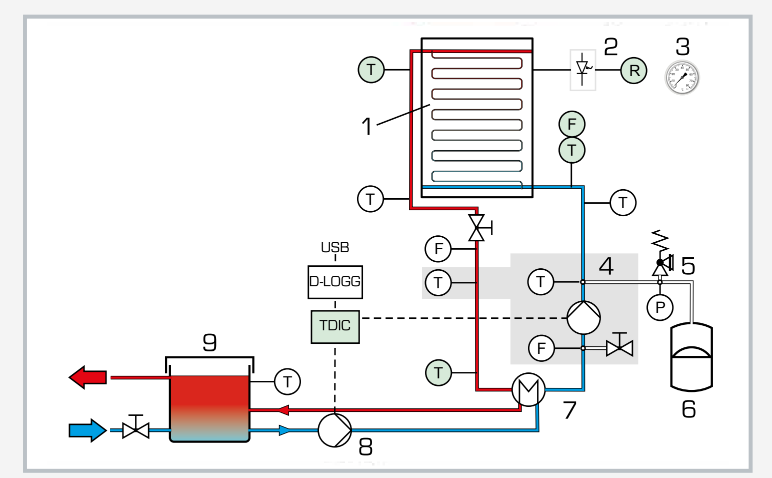
On mesure les températures dans le réservoir, à la sortie et à l'entrée du capteur solaire, ainsi que le débit du circuit solaire. Comme dans la pratique, les températures du circuit d'entrée et de sortie sont affichées sur le panneau de contrôle du circuit solaire.

Pour obtenir un éclairement suffisant, l'installation devrait être exploitée avec le rayonnement du soleil ou la source lumineuse artificielle HL 313.01, disponible en option.

HL 313
Chauffage d'eau sanitaire avec capteur plan



1 thermomètre sur circuit d'entrée/sortie, 2 régulateur solaire, 3 débitmètre, 4 réservoir d'accumulation, 5 échangeur thermique, 6 vase d'expansion, 7 pompe du circuit solaire, 8 soupape de sûreté, 9 thermomètre, affichage de la température de l'air environnant, 10 capteur solaire



TDIC régulateur solaire
1 capteur solaire, 2 détecteur d'éclairement, 3 thermomètre, affichage de la température de l'air environnant, 4 panneau de contrôle du circuit solaire avec pompe du circuit solaire, 5 soupape de sûreté, 6 vase d'expansion, 7 échangeur thermique, 8 pompe du circuit d'eau chaude, 9 réservoir d'accumulation;
F débit, T température, P pression, R éclairement

Spécification

[1] banc d'essai destiné à étudier le fonctionnement et le comportement en service d'un capteur solaire plan
[2] capteur plan héliothermique avec revêtement à absorption sélective
[3] angle d'inclinaison du capteur solaire est réglable
[4] panneau de contrôle du circuit solaire avec capteur solaire, pompe, vase d'expansion et soupape de sûreté
[5] circuit d'eau chaude avec réservoir d'accumulation, pompe et échangeur thermique à plaques
[6] 4 thermomètres bimétalliques
[7] régulateur solaire avec capteurs de température, d'éclairement et de débit
[8] enregistreur de données avec interface USB
[9] exploitation avec rayonnement du soleil ou une source de lumière artificielle HL 313.01

Caractéristiques techniques

Circuit solaire
- capteur solaire
  - surface d'absorption: 2,3m²
  - débit nominal: 20...70L/h
  - pression de service: 1...3bar
- soupape de sûreté: 4bar

Circuit d'eau chaude
- échangeur thermique à plaques: 3kW, 10 plaques
- réservoir d'accumulation: 70L

Plages de mesure
- débit: 20...150L/h
- température: 4x 0...120°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1660x800x2300mm
Poids: env. 240kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 documentation didactique

Connaissances de base

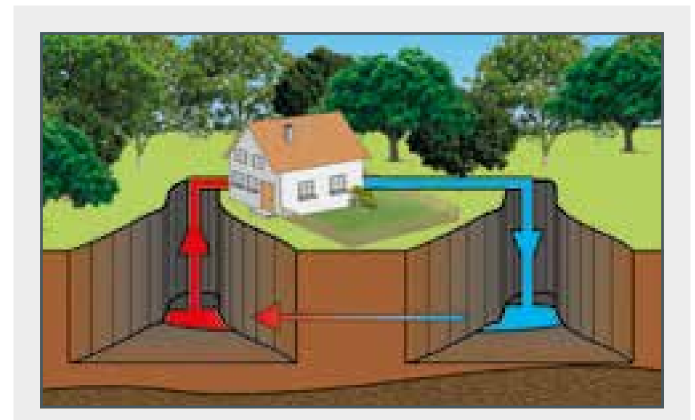
Géothermie de surface

L'exploitation thermique de la terre jusqu'à une profondeur maximale de 400 m est appelée énergie géothermique de surface. La terre constitue la source de chaleur. En raison de sa masse volumineuse, le sol emmagasine particulièrement bien l'énergie thermique, et réagit de manière insensible aux variations de température de l'air ambiant. C'est l'avantage du sol par rapport à l'air en tant que source de chaleur.

Un système de conduites se trouve dans la terre, dans lequel circule un fluide caloporteur liquide. Le fluide se chauffe dans la terre puis est acheminé jusqu'à sa surface pour être utilisé, p.ex., par une pompe à chaleur.

Réalisations techniques de l'exploitation

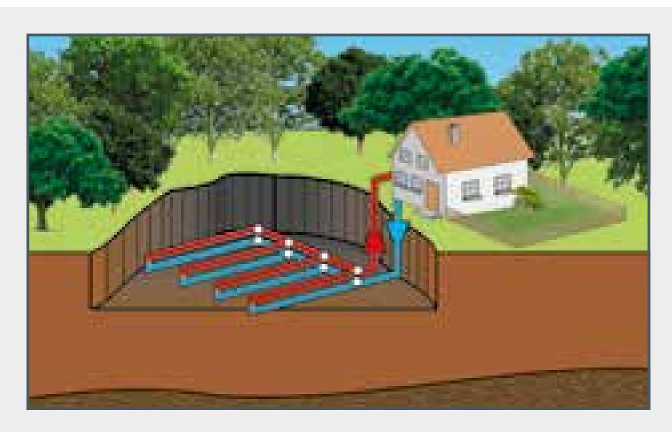
Il existe différentes possibilités d'exploitation de l'énergie thermique de la surface terrestre. La réalisation technique dépend des données locales, de la puissance souhaitée et de l'association avec d'autres systèmes énergétiques. Dans le domaine de la géothermie de surface, on fait la distinction d'une part entre systèmes ouverts et fermés, et d'autre part entre capteurs et sondes.



Système à deux puits

Le système à deux puits est un système géothermique ouvert dont l'utilisation n'entraîne pas de réaction thermique de la source de chaleur. Il peut être utilisé à des fins de chauffage ou de refroidissement, les eaux souterraines servant de source de chaleur ou de dissipateur géothermiques. Pour que ces systèmes fonctionnent, il faut qu'il y ait sur le site un volume suffisant d'eaux souterraines dans les couches proches de la surface.

Ces eaux souterraines sont pompées dans un puits de pompage et acheminées jusqu'à la surface de la terre. Ces puits ont une profondeur comprise entre 6 m et 15 m, pour les petites installations des maisons individuelles ou jumelées. En mode de chauffage, de la chaleur est prélevée dans les eaux souterraines par un échangeur de chaleur. Lorsque les eaux souterraines sont de bonne qualité et présentent un degré de pureté élevé, l'échangeur de chaleur peut prendre la forme d'un évaporateur de pompe à chaleur, et les eaux souterraines peuvent être directement exploitées par la pompe à chaleur. Afin de préserver le réservoir d'eaux souterraines, ces dernières doivent être réacheminées dans le sol après l'exploitation thermique au moyen d'un puits d'injection. La distance séparant le puits de pompage du puits d'injection doit être suffisante pour éviter tout court-circuit hydraulique. Aucune réaction thermique ne doit se produire dans le système. Un avantage de ce système réside dans le fait que la température des eaux souterraines reste pratiquement constante tout au long de l'année.



Capteurs géothermiques

Le capteur de chaleur géothermique est une expression générique qui désigne les échangeurs de chaleur géothermiques fermés produisant une réaction thermique sur la terre qui les entoure. Il a généralement la forme d'un capteur géothermique plan horizontal.

Ces capteurs sont disposés à une profondeur de 1 m à 1,5 m en dessous de surfaces terrestres non scellées. En raison de la faible profondeur de pose, le fluide caloporteur du capteur peut atteindre des températures inférieures à 0°C en mode de chauffage, et doit donc être résistant au gel. Il est également fréquent que la terre qui entoure le capteur gèle durant la période de chauffe. La régénération de la température de la terre est assurée principalement par le transport de chaleur des couches proches de la terre, de l'air ambiant, du rayonnement solaire et de la pénétration des précipitations.

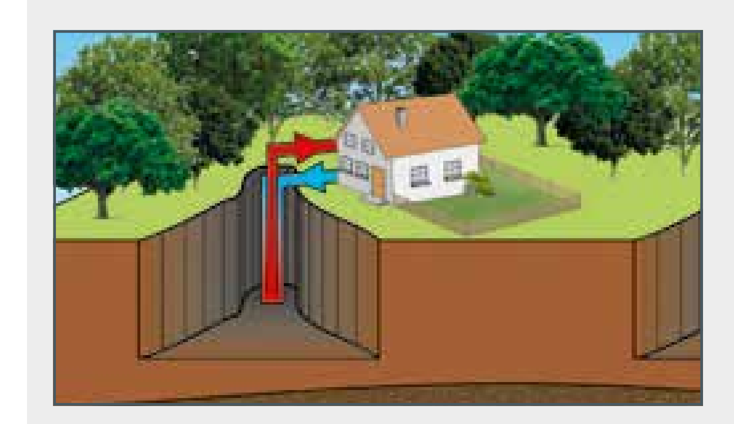
Selon les caractéristiques de la terre, on a besoin d'une surface de capteur de 15 m² à 30 m² pour une puissance de chauffe de 1 kW. En raison des températures relativement élevées rencontrées dans la terre, les capteurs géothermiques ne sont pas bien adaptés au refroidissement des bâtiments, en comparaison avec d'autres systèmes.

Sondes géothermiques

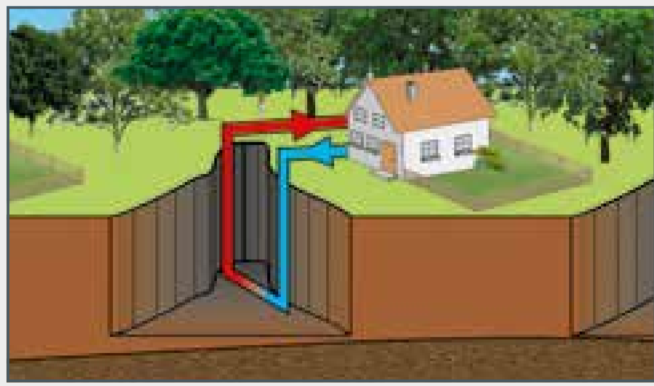
Les sondes géothermiques (SG) sont des échangeurs de chaleur installés en position verticale ou oblique dans la terre. Ils sont constitués "la plupart du temps" de tubes en plastique insérés dans des forages. Les sondes peuvent avoir des formes de construction différentes. Les sondes géothermiques sont des systèmes géothermiques fermés ayant des effets thermiques sur la terre.

Pour les petites installations de chauffage inférieures à 30 kW, les SG sont placées en règle générale à une profondeur comprise entre 50 m et 150 m; une ou deux sondes suffisent pour alimenter une maison individuelle. Si nécessaire, d'autres sondes géothermiques peuvent être combinées pour former un champ de sondes géothermiques.

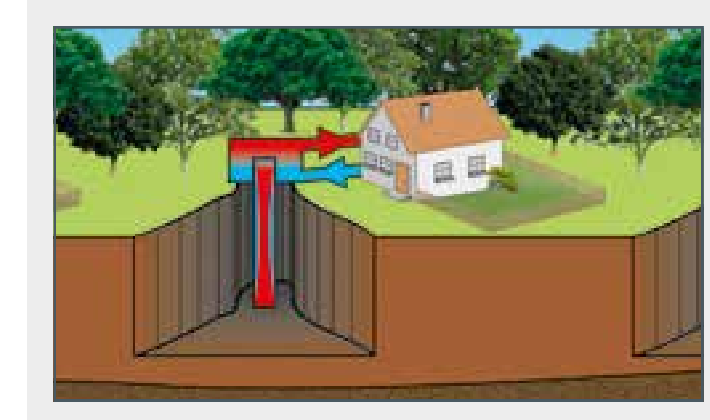
Les sondes géothermiques sont également classées en fonction du type de transfert de chaleur et de transport de chaleur. Les sondes, dans lesquelles un mélange eau/antigel est pompé au moyen d'une pompe de circulation dans le circuit entre la sonde géothermique et le consommateur, sont appelées sondes géothermiques à circulation forcée. La chaleur géothermique absorbée est libérée à la surface de la terre dans un échangeur de chaleur, qui se trouve, p.ex., dans une pompe à chaleur. Les sondes géothermiques à circulation forcée peuvent aussi, selon le principe inverse, être utilisées directement pour le refroidissement, p.ex. en transférant à l'intérieur d'un circuit de la chaleur d'un bâtiment en direction de la terre plus froide via la SG. La terre peut ainsi être utilisée en tant qu'accumulateur thermique.



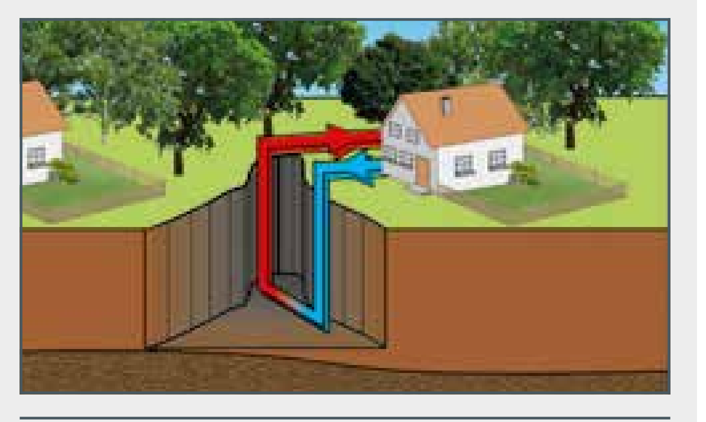
Sonde coaxiale



Sonde tubulaire en U



Sonde avec principe du heatpipe



Sonde tubulaire en double U

ET 262

Sonde géothermique avec principe du heatpipe



Description

- **les éléments transparents permettent d'avoir un aperçu de la transformation d'état du fluide caloporteur**
- **fonctionnement avec fluide caloporteur à bas point d'ébullition**

En géothermie de surface, on exploite l'énergie thermique accumulée sous la surface terrestre à des fins de chauffage.

Avec l'ET 262, on montre le fonctionnement d'une sonde géothermique utilisant le principe du heatpipe. Le montage expérimental transparent offre un aperçu d'un circuit fermé de transfert de chaleur: il permet de bien observer l'évaporation dans le heatpipe, la condensation dans la tête de la sonde, et le flux retour du fluide caloporteur le long de la paroi interne. Par ailleurs, on utilise les méthodes de base de détermination de la conductivité thermique de la terre qui entoure une sonde géothermique.

Le heatpipe transparent dont on étudie le comportement en service constitue l'élément central du banc d'essai. Le heatpipe contient un fluide caloporteur à bas point d'ébullition. Une double enveloppe avec circuit de chauffage permet de simuler l'apport de chaleur de la terre. À l'intérieur de la tête de la sonde, la chaleur du fluide caloporteur est transférée à un fluide de travail. Des capteurs enregistrent les températures et le débit du fluide de travail dans l'échangeur de chaleur. La puissance thermique transférée est déterminée à partir des valeurs de mesure. À l'aide des valeurs de mesure, on simule dans le logiciel GUNT le bilan énergétique d'une pompe à chaleur reliée.

Le Thermal Response Test est l'une des méthodes permettant de déterminer la conductivité thermique de la terre qui entoure la sonde. De l'eau chauffée de manière constante est pompée dans le circuit, à travers une sonde géothermique à tube en U enfoncée dans du sable. Les températures d'entrée et de sortie, le débit et la puissance de chauffe de la sonde géothermique sont enregistrés. La conductivité thermique est calculée à partir des valeurs de mesure.

Dans un autre essai, un cylindre de sable est chauffé par une source de chaleur cylindrique. Le profil de température qui se propage radialement dans l'échantillon de sable est enregistré, et la conductivité thermique de l'échantillon de sable est calculée. On compare les résultats de ces deux méthodes.

Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. Leur transmission se fait par une interface USB.

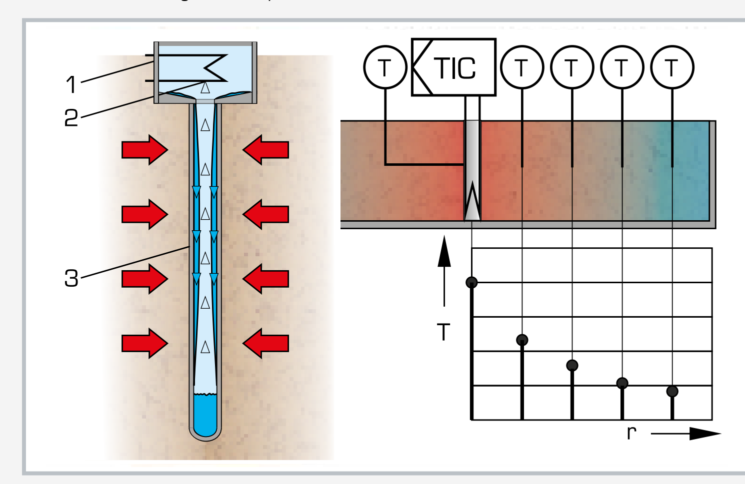
Contenu didactique/essais

- bases de la géothermie
- comportement en service d'une sonde géothermique avec principe du heatpipe
- détermination de la quantité de chaleur extractible du heatpipe lorsque l'on varie la charge thermique
- variation de la quantité de remplissage du fluide caloporteur contenu
- étude du profil de température radial dans un échantillon de sable et détermination de la conductivité thermique
- détermination de la conductivité thermique du sable à l'aide du Thermal Response Test
- principes de base et bilan énergétique d'une pompe à chaleur

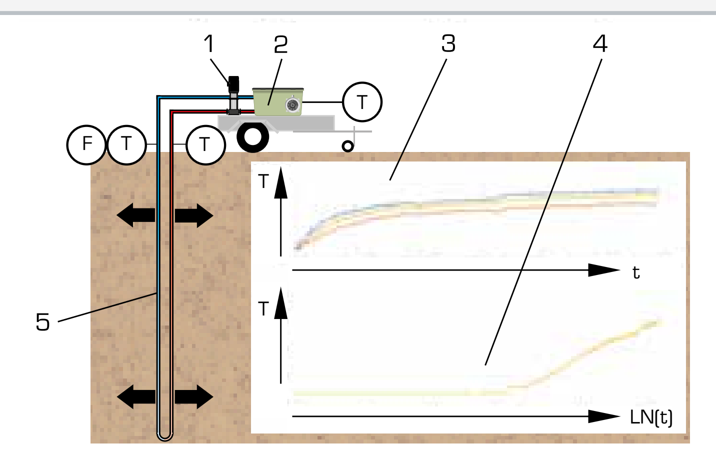
ET 262

Sonde géothermique avec principe du heatpipe

1 séparateur de condendat, 2 échangeur de chaleur, 3 heatpipe avec double enveloppe, 4 réservoir de stockage de fluide caloporteur, 5 dispositif de chauffage du circuit de chauffage, 6 réservoir d'eau avec élément chauffant, 7 pompe, 8 élément chauffant, 9 cylindre de sable, 10 sonde géothermique à tube en U



À gauche: sonde géothermique avec principe du heatpipe: 1 tête de la sonde, 2 échangeur de chaleur, 3 heatpipe, en bleu: fluide caloporteur liquide, en bleu ciel: fluide caloporteur gazeux, flèche rouge: géothermie;
À droite: conduction thermique radiale dans un échantillon de sable: T température, TIC régulateur de température du dispositif de chauffage, r rayon



Thermal Response Test: 1 pompe, 2 réservoir d'eau avec élément chauffant, 3 tracé des températures mesurées en fonction du temps, 4 tracé logarithmique de la température moyenne en fonction du temps, 5 sonde géothermique à tube en U; T température, F débit, t temps, LN(t) logarithme naturel du temps

Spécification

[1] démonstration du fonctionnement d'une sonde géothermique utilisant le principe du heatpipe
[2] heatpipe en verre avec double enveloppe transparente
[3] eau comme fluide de travail pour la dissipation de la chaleur dans l'échangeur de chaleur
[4] alimentation en fluide de travail par le biais du réseau du laboratoire ou du générateur d'eau froide WL 110.20
[5] simulation du bilan énergétique d'une pompe à chaleur dans le logiciel GUNT
[6] fluide caloporteur sans CFC Solkatherm SES36
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Heatpipe
- longueur: env. 1200mm
- diamètre extérieur du heatpipe: env. 56mm
- diamètre extérieur de la double enveloppe: env. 80mm

Dispositif de chauffage dans le circuit de chauffage
- puissance: 2kW

Pompe dans le circuit de chauffage
- débit de refoulement max.: 1,9m³/h
- puissance absorbée: 58W

Sonde géothermique à tube en U en cuivre
- longueur: env. 1000mm

Pompe dans le Thermal Response Test
- débit de refoulement: 4,8...28,2L/h
- puissance absorbée: max. 60W

Élément chauffant du réservoir d'eau
- puissance: 100W

Élément chauffant du réservoir de sable
- puissance: 50W

Plages de mesure
- température de l'élément chauffant dans l'échantillon de sable: 0...250°C
- débit: 0,4...6L/min

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: env. 1500x790x1900mm
Poids: env. 250kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain ou WL 110.20
PC avec Windows

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 sable (25kg; 1...2mm taille de grain)
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



ET 264

Exploitation de la géothermie avec un système à deux puits



Description

- **exploitation de la géothermie dans un système ouvert sans répercussion thermique**
- **simulation du bilan énergétique d'une pompe à chaleur**

La géothermie est l'étude et l'exploitation de la chaleur et de la distribution de la température dans la terre. Dans une installation géothermique de surface, on exploite l'énergie thermique accumulée sous la surface terrestre. Ainsi, par exemple dans un système à deux puits, de l'énergie thermique est prélevée dans les eaux souterraines proches de la surface, à des fins de chauffage. L'ET 264 montre le fonctionnement d'un tel système à deux puits.

Le banc d'essai comprend un circuit d'eau fermé avec réservoir de stockage et pompe. L'élément principal est un lit de sable traversé par de l'eau, avec un puits de production et un puits absorbant. On peut faire entrer ou évacuer de l'eau (eaux souterraines) par deux chambres positionnées sur les côtés.

Durant l'essai, les eaux souterraines sont acheminées depuis le puits de production jusqu'à un échangeur de chaleur, et l'énergie thermique venant des eaux souterraines est transférée à un fluide de travail.

L'eau s'écoule ensuite dans un puits absorbant. Puis l'eau passe par la chambre d'évacuation, et arrive enfin au réservoir de stockage où elle est chauffée avant d'être réacheminée dans la section d'essai. Dans le réservoir de stockage, la température des eaux souterraines est ajustée à l'aide d'un dispositif de chauffage régulé. Le débit de la pompe dans le puits de production est ajustable. L'écoulement souterrain à travers le lit de sable est ajusté par des drains dont la hauteur est réglable. Le fluide de travail est fourni soit par le réseau du laboratoire, soit par le générateur d'eau froide WL 110.20.

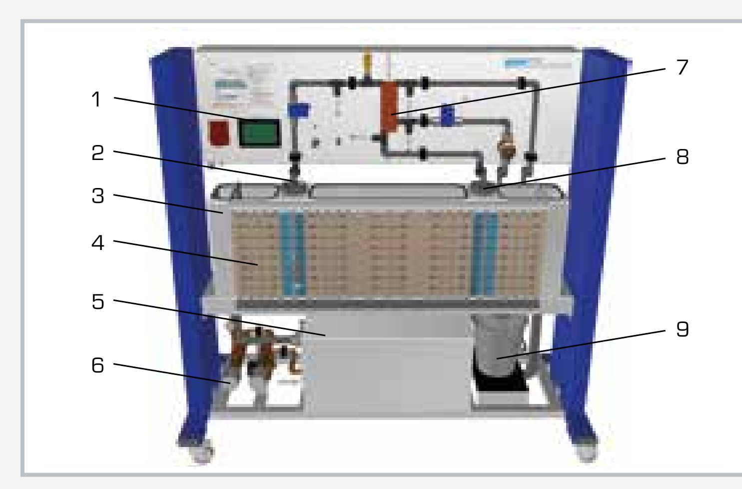
On déduit la puissance thermique transférée à partir des températures mesurées et du débit. Un manomètre à tubes multiples visualise les niveaux des eaux souterraines des deux puits. Les valeurs de mesure sont affichées sur le banc d'essai. Elles peuvent être transmises via USB à un PC afin d'y être exploitées à l'aide du logiciel GUNT fourni. À l'aide des valeurs de mesure, on simule une pompe à chaleur qui est reliée au système à deux puits.

Contenu didactique/essais

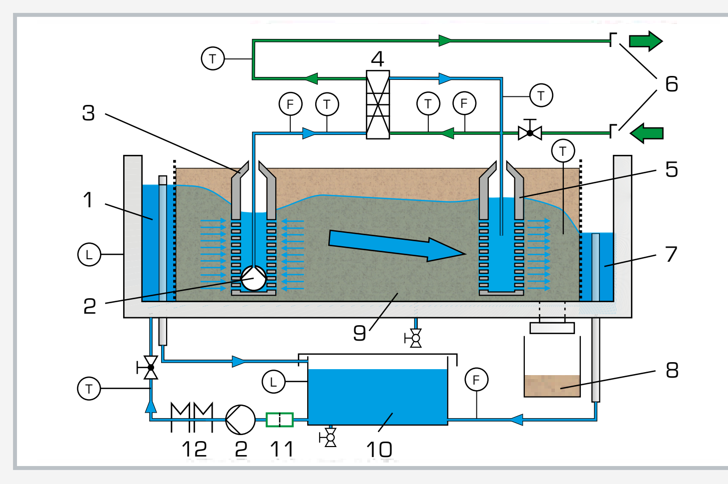
- principes de base de l'exploitation géothermique
- comportement en service d'un système à deux puits
- caractéristiques hydrauliques et thermiques de la terre
- détermination de la puissance thermique exploitable
- principes de base et bilan énergétique d'une pompe à chaleur

ET 264

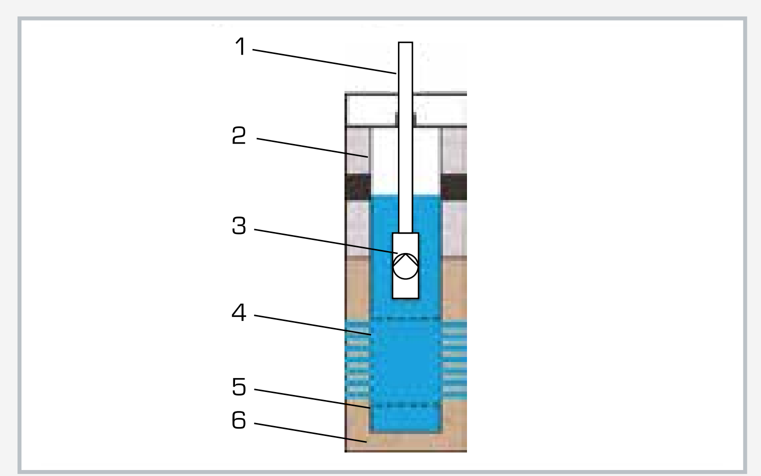
Exploitation de la géothermie avec un système à deux puits



1 écran, 2 puits de production, 3 réservoir d'essai, 4 manomètre à tubes multiples, 5 réservoir de stockage, 6 chauffage, 7 échangeur de chaleur, 8 puits absorbant, 9 réservoir



1 chambre d'alimentation, 2 pompe, 3 puits de production, 4 échangeur de chaleur, 5 puits absorbant, 6 raccordement du fluide de travail, 7 chambre d'évacuation, 8 réservoir, 9 section d'essai, 10 réservoir de stockage, 11 filtre, 12 chauffage; F débit, L niveau, T température, bleu: eau, vert: fluide de travail



Construction typique d'un puits de production: 1 conduite montante, 2 tube supérieur, 3 pompe, 4 tube filtrant, 5 tube décanteur de fond, 6 gravier filtrant

Spécification

[1] démonstration et fonctionnement d'un système à deux puits d'exploitation de la géothermie
[2] circuit d'eaux souterraines avec régulation de température
[3] trop-pleins réglables en hauteur pour l'ajustage de l'écoulement souterrain
[4] débit ajustable de la pompe du puits de pompage
[5] mesure de la température et du débit pour déterminer la puissance thermique transférée
[6] manomètre à tubes multiples pour la visualisation des niveaux des eaux souterraines
[7] alimentation en fluide de travail par le biais du réseau du laboratoire ou du générateur d'eau froide WL 110.20
[8] calcul de la puissance thermique transférée et simulation du bilan énergétique d'une pompe à chaleur
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Section d'essai
- Lxlxh: env. 1600x270x470mm

Pompe du puits de production
- puissance absorbée: max. 72W
- débit de refoulement max.: env. 17L/min

Pompe du réservoir de stockage
- puissance absorbée: env. 70W
- débit de refoulement max.: 20L/min

Réservoir de stockage
- volume: env. 135L

Échangeur de chaleur à plaques
- surface de transfert de chaleur: 0,39m^2
- nombre de plaques: 30

Chauffage
- puissance: max. 8kW

Plages de mesure
- température: 0...45°C
- débit:
  - 0...17L/min (puits de production)
  - 5...50L/min (circuit d'eaux souterraines)

400V, 50Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases; 400V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1990x790x1920mm
Poids à vide: env. 320kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain ou WL 110.20, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 sable (250kg, taille de grain 1...2mm)
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

Connaissances de base

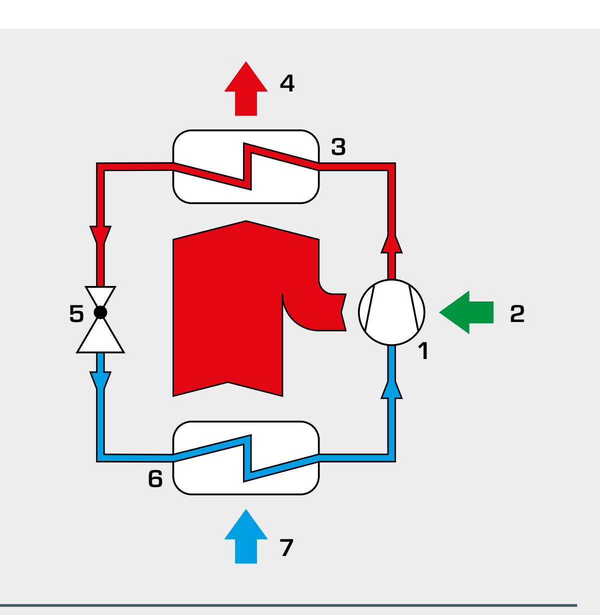
Pompe à chaleur

Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur?

Une pompe à chaleur est un dispositif qui transporte de la chaleur d'un niveau de température bas, vers un niveau de température plus élevé. Pour effectuer cela, elle a besoin d'une puissance d'entraînement. Cette dernière peut être mécanique, électrique ou thermique. Les pompes à chaleur les plus courantes fonctionnent selon le principe de la réfrigération par compression. On trouve aussi, mais plus rarement, des pompes à chaleur basées sur le processus d'absorption.

Le COP est un indicateur important du fonctionnement des pompes à chaleur. COP signifie "Coefficient of Performance". Le COP caractérise l'efficacité de fonctionnement d'une pompe à chaleur. Le COP correspond au rapport entre la puissance thermique et la puissance d'entraînement requise pour atteindre cette puissance thermique. Cette valeur est très utile pour comparer des pompes à chaleur différentes entre elles.

Le COP dépend directement de la température de la source de chaleur, et de la température de chauffage du bâtiment. C'est pourquoi le COP varie à chaque point de fonctionnement de la pompe à chaleur. Plus le COP est élevé, plus la pompe à chaleur fonctionne de manière efficace.



1 compresseur, **2** travail mécanique, **3** condenseur, **4** dissipation de chaleur, **5** soupape de détente, **6** évaporateur, **7** absorption de chaleur

Où la pompe à chaleur trouve-t-elle son énergie?

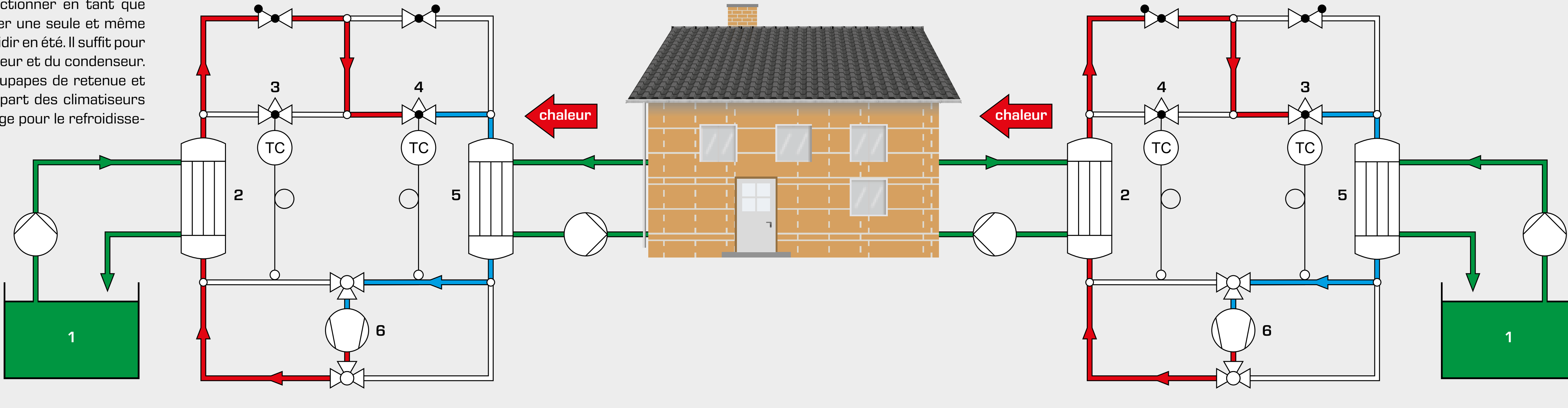
De manière générale, la pompe à chaleur prélève de l'énergie dans l'environnement: la plupart du temps dans l'air, les eaux souterraines, la terre ou les eaux fluviales. Lorsque cette énergie est prélevée dans le sol, on parle de géothermie de surface. Pour obtenir un rendement élevé, il est important que la température de la source d'énergie soit aussi élevée et constante que possible. Cette température ne doit pas trop baisser en hiver, au moment où la puissance de chauffe à fournir est la plus élevée. En ce qui concerne les eaux souterraines et la terre, les échangeurs de chaleur doivent avoir de très grandes dimensions afin d'éviter tout refroidissement local. Pour choisir la source de chaleur adéquate, il faut mettre en regard l'investissement financier, le rendement, la disponibilité et les démarches requises pour obtenir les autorisations. L'utilisation de la chaleur perdue de faible niveau, comme l'air extrait ou l'eau de refroidissement, constitue une option avantageuse.

Plus le différentiel de température entre la source de chaleur (évaporateur) et la température de chauffage (condenseur) est basse, plus le COP a une valeur élevée.

Source d'énergie	Avantage	Inconvénient
air extérieur	investissements faibles	COP inférieur en hiver
eaux fluviales	investissements faibles	COP inférieur en hiver
eaux souterraines	bonne puissance constante	investissements plus élevés, autorisations requises
terre	bonne puissance constante	plus grande surface requise

Une pompe à chaleur peut chauffer ou refroidir

Étant donné que leur principe de fonctionnement est le même, la pompe à chaleur peut également fonctionner en tant que machine frigorifique. Cela permet d'utiliser une seule et même installation pour chauffer en hiver et refroidir en été. Il suffit pour cela d'inverser les fonctions de l'évaporateur et du condenseur. Ce qui s'effectue en commutant deux soupapes de retenue et une seconde soupape de détente. La plupart des climatiseurs split ont une fonction intégrée de chauffage pour le refroidissement des pièces.



Été

1 dissipateur thermique, **2** condenseur, **3** soupape de détente 1, **4** soupape de détente 2, **5** évaporateur, **6** compresseur, circuit d'eau/de saumure, agent réfrigérant (basse pression), agent réfrigérant (haute pression)

Hiver

1 source de chaleur, **2** condenseur, **3** soupape de détente 1, **4** soupape de détente 2, **5** évaporateur, **6** compresseur, circuit d'eau/de saumure, agent réfrigérant (basse pression), agent réfrigérant (haute pression)



ET 102
Pompe à chaleur



Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une pompe à chaleur air-eau
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- bilans énergétiques
- détermination des grandeurs caractéristiques importantes
  - rapport de pression du compresseur
  - coefficient de performance idéal
  - coefficient de performance réel
- dépendance du coefficient de performance réel de la différence de température (air-eau)
- comportement en service sous charge

Description

- **utilisation de la chaleur ambiante pour un chauffage d'eau**
- **affichage de toutes les valeurs pertinentes sur le lieu de la mesure**

Dans le cas de la pompe à chaleur air-eau ET 102, on utilise la chaleur ambiante pour chauffer l'eau.

Le circuit de la pompe à chaleur se compose d'un compresseur, d'un condenseur avec ventilateur, d'une soupape de détente thermostatique, et d'un échangeur de chaleur à serpentin en guise de condenseur. Tous les composants sont disposés de manière visible sur le banc d'essai.

La vapeur d'agent réfrigérant comprimée se condense dans le tube extérieur du condenseur, et rend ainsi de la chaleur à l'eau contenue dans le tuyau intérieur. L'agent réfrigérant liquide s'évapore à une pression basse dans l'évaporateur à tube à ailettes, et absorbe ainsi de la chaleur provenant de l'air ambiant.

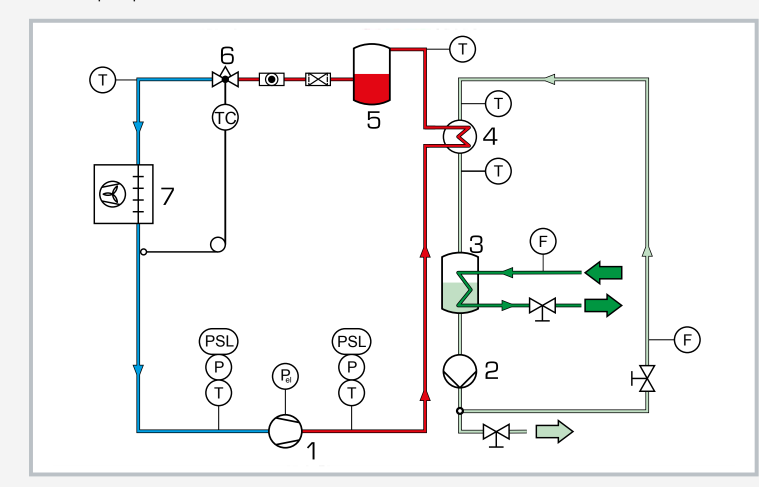
Le circuit d'eau chaude se compose d'un réservoir, d'une pompe et d'un condenseur comme dispositif de chauffage. Pour un fonctionnement continu, la chaleur perdue est évacuée par un raccord d'eau de refroidissement externe. Le débit d'eau de refroidissement est ajusté et mesuré par une soupape.

Toutes les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par des capteurs et affichées. La transmission simultanée des valeurs de mesure à un logiciel d'acquisition de données permet l'évaluation aisée, et la représentation des processus sous forme de diagramme log p,h. Le logiciel affiche également les grandeurs caractéristiques les plus importantes du processus comme, par exemple, le rapport de pression de compresseur et les coefficients de performance.

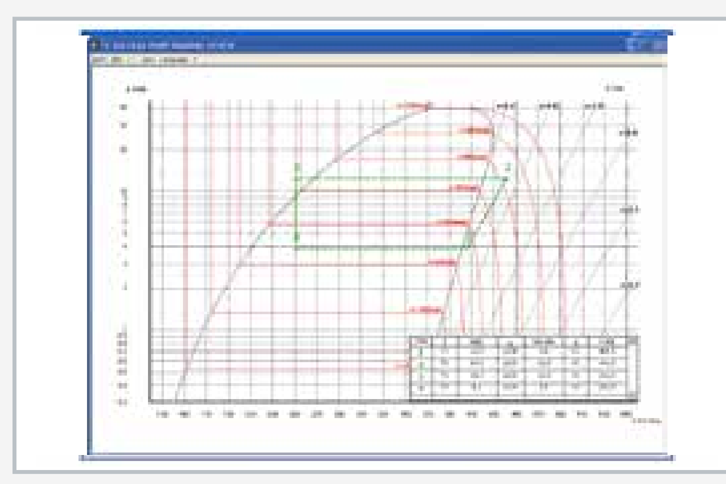
ET 102
Pompe à chaleur



1 soupape de détente, 2 condenseur avec ventilation, 3 capteur de pression, 4 pressostat, 5 éléments d'affichage et de commande, 6 compresseur, 7 débitmètre eau de refroidissement, 8 pompe, 9 réservoir d'eau chaude, 10 réservoir, 11 condenseur



1 compresseur, 2 pompe, 3 réservoir d'eau avec raccord d'eau de refroidissement externe, 4 condenseur, 5 réservoir, 6 soupape de détente, 7 évaporateur avec ventilateur; T température, P pression, F débit, P_{el} puissance, PSH, PSL pressostat; bleu-rouge: circuit frigorifique, vert clair: circuit d'eau chaude, vert: eau de refroidissment



Capture d'écran du logiciel: le diagramme log p,h

Spécification

[1] étude d'une pompe à chaleur avec circuit d'eau comme charge de refroidissement
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur avec ventilateur, soupape de détente thermostatique et échangeur de chaleur à serpentin comme condenseur
[3] circuit d'eau chaude avec pompe, réservoir et condenseur comme dispositif de chauffage
[4] refroidissement supplémentaire par serpentin dans le réservoir d'eau chaude et eau de refroidissement externe
[5] acquisition et affichage de toutes les valeurs de mesure pertinentes
[6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance: 372W à 7,2/32°C

Échangeur de chaleur à serpentin (condenseur)
- contenu d'agent réfrigérant: 0,55L
- contenu d'eau: 0,3L

Évaporateur à tubes à ailettes
- surface de transfert: env. 0,175m^2

Pompe
- débit de refoulement max.: 1,9m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 1,4m

Volume du réservoir d'eau chaude: env. 4,5L

Plages de mesure
- pression: 2x -1...15bar
- température: 4x 0...100°C, 2x -100...100°C
- puissance: 1x 0...6000W
- débit: 1x 0...108L/h (eau)
- débit: 1x 10...160L/h (eau de refroidissement)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1620x790x1910mm
Poids: env. 192kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 405

Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage



Description

- **pompe à chaleur air-eau**
- **modes de chauffage et de refroidissement possibles**
- **rapport pratique élevé dû à l'utilisation de composants industriels du génie frigorifique**
- **différents modes de fonctionnement ajustables par électrovannes**

Les installations frigorifiques et les pompes à chaleur se différencient seulement dans la définition d'utilisation, mais peuvent être conçues de la même manière. Les marchandises dans un supermarché peuvent être refroidies et chauffées avec la chaleur perdue de l'espace de vente. Il est également possible de refroidir l'espace de vente en été avec la même installation.

Il est possible d'étudier le mode de chauffage et de refroidissement avec l'ET 405. Différents modes de fonctionnement peuvent être sélectionnés par électrovannes.

Le circuit frigorifique avec compresseur et condenseur (échangeur de chaleur avec ventilateur) contient deux évaporateurs avec ventilateur (niveaux de refroidissement normal et de congélation) et des soupapes de détente thermostatiques. Les deux évaporateurs peuvent être montés en parallèle ou en série. Un tube capillaire fait office d'élément d'expansion pour le montage en série à l'évaporateur de niveau de refroidissement normal. Le circuit de l'agent réfrigérant est lié à un circuit d'eau glycolée par l'échangeur de chaleur à serpentin. L'échangeur de chaleur à serpentin peut être commuté comme évaporateur ou condenseur grâce aux électrovannes. Le mélange d'eau glycolée dans le réservoir peut ainsi être chauffé ou refroidi. En mode de refroidissement pur (sans fonction de chauffage), l'échangeur de chaleur avec ventilateur comme condenseur reprend la dissipation de la chaleur. Cet échangeur peut aussi être commuté comme évaporateur grâce aux électrovannes.

Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le logiciel permet une représentation claire du processus.

Contenu didactique/essais

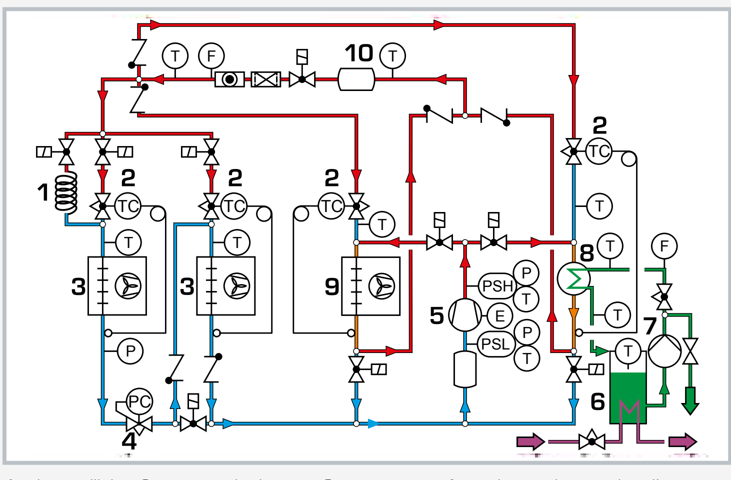
- structure, fonctionnement et composants essentiels d'une pompe à chaleur ou d'une installation frigorifique
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- comparaison de différents modes de fonctionnement
- mesure de la puissance du compresseur, et de la puissance calorifique et de refroidissement du circuit d'eau glycolée
- détermination de
  - rendement
  - coefficient de performance de la pompe à chaleur et de l'installation frigorifique
  - travail spécifique du compresseur
  - rapport de pression de compresseur
  - puissance de refroidissement spécifique
  - puissance frigorifique spécifique
- comparaison des grandeurs caractéristiques pompe à chaleur-installation frigorifique

ET 405

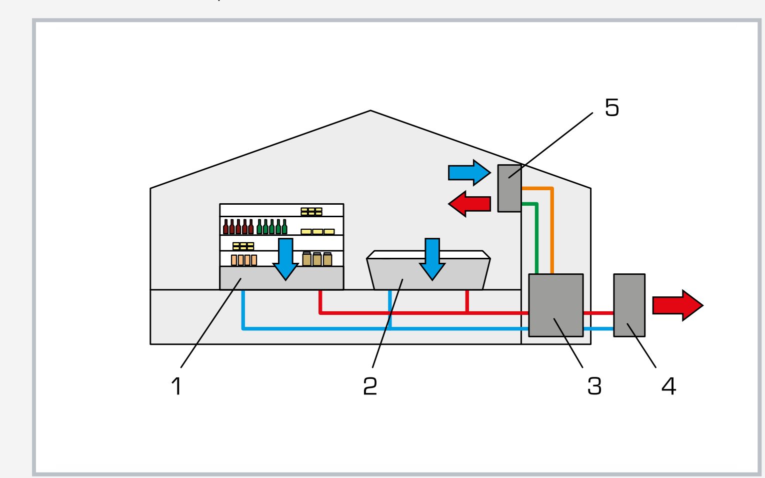
Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage



1 évaporateur, 2 soupape de détente, 3 tube capillaire, 4 évaporateur (congélation), 5 régulateur de pression d'évaporation, 6 compresseur, 7 réservoir, 8 échangeur de chaleur avec ventilateur, 9 pompe, 10 éléments d'affichage et de commande, 11 réservoir pour mélange d'eau glycolée, 12 débitmètre, 13 électrovanne, 14 échangeur de chaleur à serpentin



1 tube capillaire, 2 soupape de détente, 3 évaporateur, 4 régulateur de pression d'évaporation, 5 compresseur, 6 réservoir pour eau glycolée, 7 pompe, 8 échangeur de chaleur à serpentin, 9 échangeur de chaleur avec ventilateur, 10 réservoir; T température, P pression, F débit, PSH, PSL pressostat



Utilisation en supermarché: 1 meubles de refroidissement, 2 congélateur, 3 pompe à chaleur, 4 condenseur externe, 5 convecteur pour chauffer ou refroidir l'espace de vente

Spécification

[1] pompe à chaleur air-eau pour mode de refroidissement et mode de chauffage
[2] différents modes de fonctionnement pouvant être sélectionnés par électrovannes
[3] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur (échangeur de chaleur avec ventilateur), 2 évaporateurs avec ventilateur (niveaux de refroidissement normal et de congélation)
[4] circuit d'eau glycolée avec réservoir, pompe et échangeur de chaleur à serpentin
[5] échangeur de chaleur à serpentin et échangeur de chaleur avec ventilateur comme condenseur ou évaporateur, utilisables dans le circuit frigorifique
[6] 1 soupape de détente thermostatique pour chaque échangeur de chaleur et pour chaque évaporateur
[7] en plus, 1 régulateur de pression de compression et 1 tube capillaire pour l'évaporateur (refroidissement normal)
[8] affichages de température, pression, débit et puissance absorbée du compresseur
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] agent réfrigérant R134a, sans CFC

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 934W à -6,7/55°C
- puissance absorbée: 620W à -6,7/55°C

Échangeur de chaleur avec ventilateur
- surface de transfert: 1,25m^2, débit volumétrique d'air: 650m^3/h, puissance: 1148W à DT=15K

Évaporateurs avec ventilateur
- niveau de refroidissement normal
  - surface de transfert: 1,21m^2, débit volumétrique d'air: 80m^3/h, puissance: 140W (t_{L1}=5°C, DT1=10K)
- niveau de refroidissement de congélation
  - surface de transfert: 3,62m^2, débit volumétrique d'air: 125m^3/h, puissance: 330W (t_{L1}=5°C, DT1=10K)

Échangeur de chaleur à serpentin
- puissance: 1,6kW à 0°C; DT=9K

Plages de mesure
- température: 11x -50...150°C
- pression: 2x -1...15bar, 1x -1...24bar
- débit: 1x 4...40L/h (agent réfrigérant)
- débit: 1x 2,5...65g/s (eau glycolée)
- puissance: 0...1150W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2210x800x1900mm
Poids: env. 330kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 420
Accumulateurs de glace en génie frigorifique

Plus l'alimentation en énergie est décentralisée, plus il est essentiel de pouvoir stocker cette énergie. Depuis des années, l'ingénierie de bâtiment stocke efficacement l'énergie thermique destinée au chauffage de l'eau sanitaire. Par contre, l'utilisation d'accumulateurs de glace pour le refroidissement des bâtiments demeure l'exception.

La chaleur à évacuer pour le refroidissement des bâtiments varie d'un jour à l'autre. Le besoin de refroidissement est en général beaucoup plus élevé dans la journée que pendant la nuit. Pour être en mesure de refroidir les bâtiments même lorsque les exigences de charge sont à leur niveau le plus élevé, les installations frigorifiques sont dimensionnées en fonction du pic de charge attendu. Ce qui entraîne un surdimensionnement du génie frigorifique, si bien que les installations concernées fonctionnent de manière très inefficace en comportement à charge partielle.

Des accumulateurs de glace peuvent être utilisés pour soutenir le fonctionnement de l'installation frigorifique lorsque les charges de refroidissement sont particulièrement élevées. On utilise les accumulateurs de glace pour renforcer l'installation frigorifique, principalement dans les bâtiments non habités de grande dimension. En cas de faibles besoins de froid, l'accumulateur est alimenté par l'installation frigorifique, et peut être à nouveau déchargé en cas de pics de charge pour venir en renfort de cette dernière. Cette méthode permet de réduire le dimensionnement du génie frigorifique. L'utilisation d'installations frigorifiques entraîne une baisse des coûts de fonctionnement et d'acquisition.

1 armoire de commande,
2 réservoir de stockage de glycol,
3 pompes de circulation,
4 accumulateur de glace,
5 compresseur d'agent réfrigérant,
6 condenseur d'agent réfrigérant,
7 évaporateur d'agent réfrigérant,
8 tour de refroidissement par voie humide,
9 tour de refroidissement par voie sèche



Banc d'essai avec installation frigorifique et accumulateur de glace

Lorsque l'on évacue de la chaleur d'un accumulateur de liquide, la température du fluide de stockage baisse. L'eau reste liquide et l'état physique reste le même. L'accumulateur de glace appartient au contraire au groupe des accumulateurs latents. L'eau contenue dans l'accumulateur de glace modifie son état physique. La température de l'eau reste constante durant la transition entre phases. Si la chaleur continue d'être évacuée, l'eau contenue dans l'accumulateur de glace reste à une température constante de 0°C. L'énergie évacuée correspond au travail issu du changement de phase lors du gel de l'eau.

Pour décharger l'accumulateur de glace, de la chaleur est transférée à la glace. La température reste constante jusqu'à ce que toute la glace de l'accumulateur ait fondu. Le processus du changement de phase permet l'accumulation d'une grande quantité d'énergie thermique avec un faible différentiel de température.

L'ET 420 offre une installation frigorifique avec accumulateur de glace dont le fonctionnement peut être entièrement ajusté aux besoins. Le concept de l'installation comprend une tour de refroidissement par voie sèche 9, qui représente pendant les essais l'échangeur de chaleur dans le bâtiment à alimenter, ainsi qu'une tour de refroidissement par voie humide 8, qui représente la libération de chaleur dans l'air ambiant. L'accumulateur de glace permet la réalisation de différents états de fonctionnement afin de répondre efficacement aux besoins fluctuants de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment.

En modifiant la position des soupapes, il est possible d'ajuster les états de fonctionnement suivants:

- chargement de l'accumulateur de glace
- refroidissement par l'accumulateur de glace
- refroidissement par l'installation frigorifique
- refroidissement par l'installation frigorifique et l'accumulateur de glace
- chauffage par la pompe à chaleur
- chauffage par la pompe à chaleur et chargement de l'accumulateur de glace
- dissipation de la chaleur par la tour de refroidissement par voie humide



Tour de refroidissement par voie humide



Tour de refroidissement par voie sèche

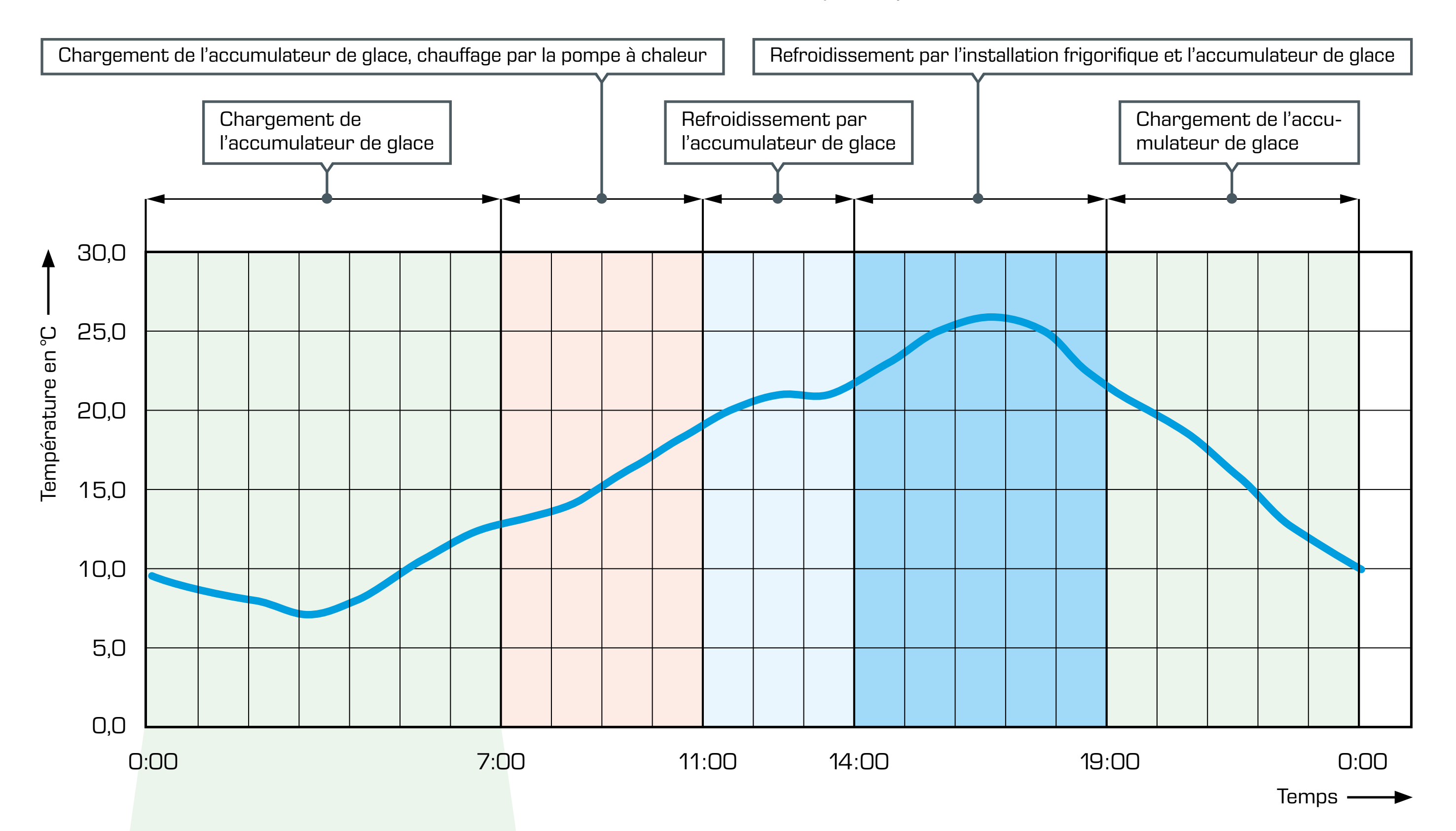


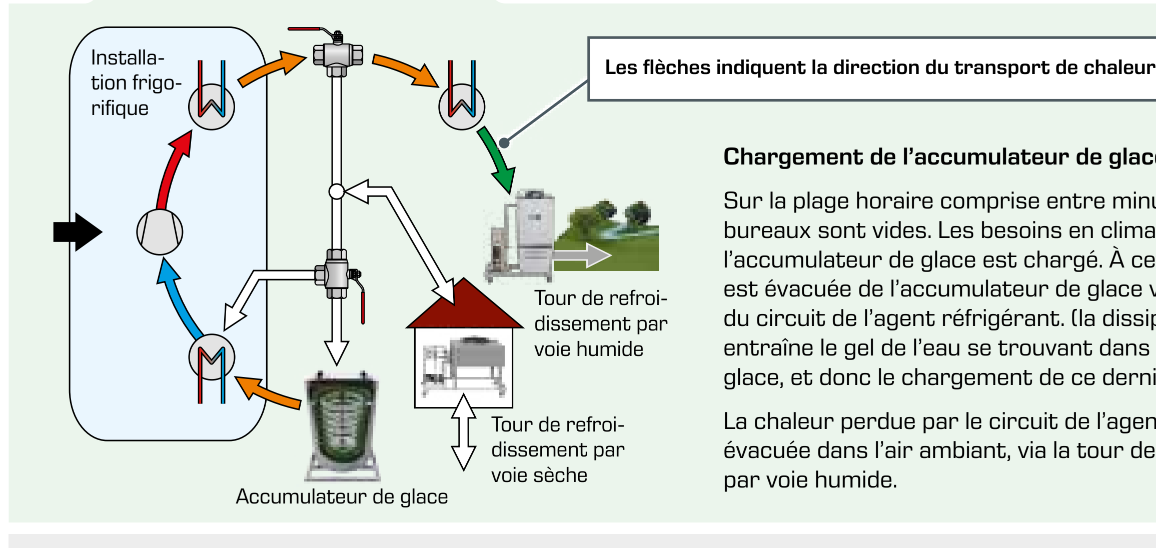
ET 420 Accumulateurs de glace en génie frigorifique

Exemple d'alimentation thermique d'un bâtiment: les modes de fonctionnement de l'ET 420

Ce qui suit montre comment fonctionne, dans la pratique, une alimentation en énergie thermique adaptée à la demande par le biais d'une installation frigorifique avec accumulateur de glace. On considère à cet effet, à titre d'exemple, le profil de charge d'un immeuble de bureaux à alimenter.

Pour montrer le fonctionnement de l'accumulateur de glace, on prend l'exemple du cycle d'une journée. L'objectif principal est de réagir à des charges de refroidissement et de chauffage variables, et d'assurer une alimentation efficace du bâtiment par une séquence judicieuse d'états de fonctionnement.



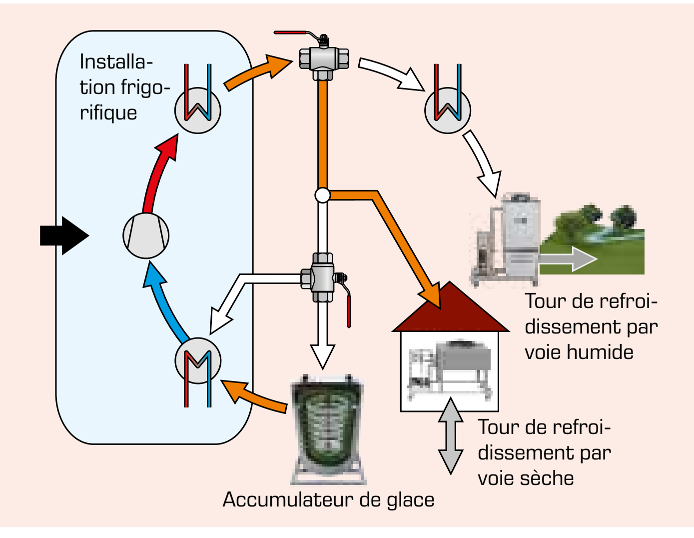


Chargement de l'accumulateur de glace

Sur la plage horaire comprise entre minuit et 07h, les bureaux sont vides. Les besoins en climatisation sont nuls, l'accumulateur de glace est chargé. À cet effet, la chaleur est évacuée de l'accumulateur de glace via l'évaporateur du circuit de l'agent réfrigérant. (la dissipation de la chaleur entraîne le gel de l'eau se trouvant dans l'accumulateur de glace, et donc le chargement de ce dernier.)

La chaleur perdue par le circuit de l'agent réfrigérant est évacuée dans l'air ambiant, via la tour de refroidissement par voie humide.

glycol, agent réfrigérant LP, agent réfrigérant HP,
eau, air, puissance électrique, processus inactif

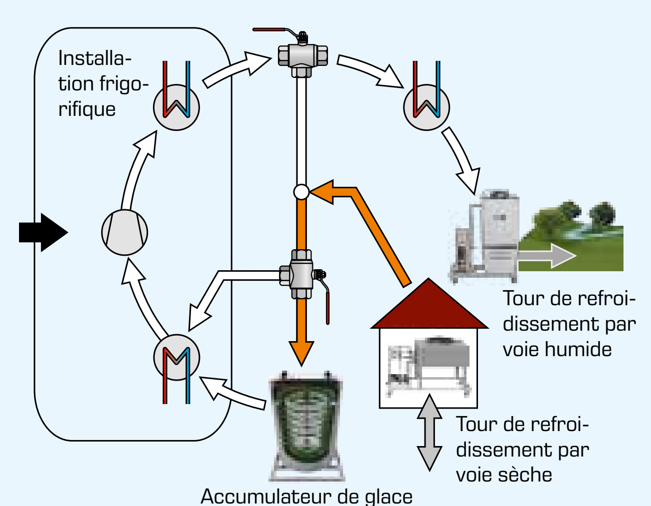


Chargement de l'accumulateur de glace et chauffage par chaleur perdue

Sur la plage horaire du matin comprise entre 07h et 11h, la température à l'intérieur du bâtiment est < 20°C. Il y a un besoin de chauffage.

La chaleur qui apparaît pendant le processus de charge de l'accumulateur de glace peut être utilisée pour le chauffage. À cet effet, la chaleur est évacuée de l'accumulateur de glace via l'évaporateur du circuit de l'agent réfrigérant. La dissipation de la chaleur permet de charger l'accumulateur de glace.

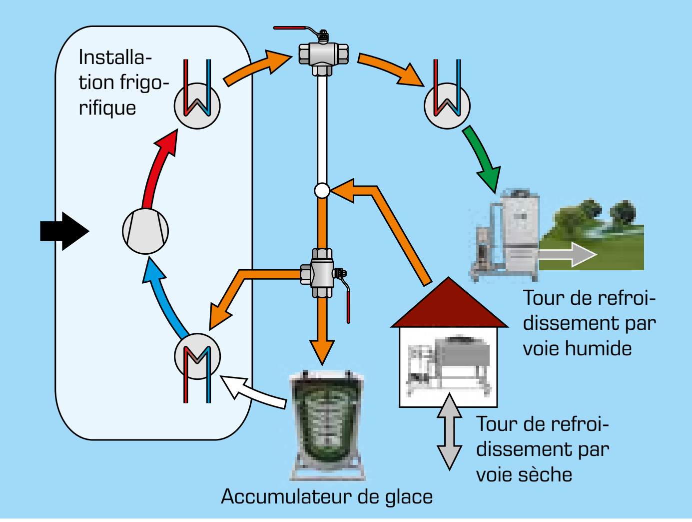
La chaleur perdue utile, provenant du circuit de l'agent réfrigérant, est transférée à la tour de refroidissement par voie sèche via le condenseur, ce qui permet de chauffer le bâtiment. Le système fonctionne en mode pompe à chaleur, en utilisant simultanément de la chaleur et du froid.



Refroidissement par l'accumulateur de glace

Sur la plage horaire comprise entre 11h et 14h, les températures à l'intérieur du bâtiment sont comprises entre 20 et 23°C. Les besoins de froid sont relativement bas et peuvent être couverts par l'accumulateur de glace.

La glace contenue dans l'accumulateur de glace fond, et absorbe la chaleur de la tour de refroidissement par voie sèche. Ce qui a pour effet de refroidir la tour de refroidissement par voie sèche. Et donc de refroidir le bâtiment. Il n'est pas nécessaire de faire fonctionner l'installation frigorifique pour évacuer la charge de refroidissement.



Refroidissement par l'installation frigorifique et l'accumulateur de glace

Sur la plage horaire comprise entre 14h et 19h, les températures dans le bâtiment sont comprises entre 23 et 27°C. Ce pic de charge dans la charge de refroidissement est couvert par le refroidissement combiné de l'accumulateur de glace et de l'installation frigorifique.

Pour cela, de la chaleur provenant de la tour de refroidissement par voie sèche est évacuée, ce qui permet de refroidir le bâtiment. Une partie de cette chaleur est transférée à l'accumulateur de glace, ce qui fait fondre la glace contenue dans ce dernier, qui absorbe la chaleur provenant de la tour de refroidissement par voie sèche. Afin d'évacuer la charge de refroidissement particulièrement élevée, l'installation frigorifique fonctionne également, et évacue une partie de la chaleur de la tour de refroidissement par voie sèche via l'évaporateur.

La chaleur perdue par le circuit de l'agent réfrigérant est libérée dans l'air ambiant via la tour de refroidissement par voie humide.

Chargement de l'accumulateur de glace

À partir de 19h, le bâtiment est vide. Il n'y a plus de besoin de climatisation.
Durant cette période, l'accumulateur de glace est chargé par l'installation frigorifique.

ET 420
Accumulateurs de glace en génie frigorifique



L'illustration montre le banc d'essai à gauche, la tour de refroidissement par voie sèche (à droite) et par boie humide (au milieu).

Description

- **installation frigorifique industrielle avec accumulateur de glace, tour de refroidissement par voie sèche et tour de refroidissement par voie humide**
- **efficacité énergétique en génie frigorifique et climatique**

Les accumulateurs de glace sont utilisés en génie frigorifique, afin de couvrir un besoin de refroidissement supplémentaire (pointe de charge). Le chargement des accumulateurs de glace se produit principalement la nuit, lorsque le besoin en énergie générale et les coûts énergétiques sont les plus bas.

Un circuit, avec le mélange d'eau glycolée entre l'accumulateur de glace et l'installation frigorifique à compression, sert pour le chargement et le déchargement de l'accumulateur de glace. Pour le chargement de l'accumulateur de glace, le mélange d'eau glycolée est refroidi en dessous de 0°C par le circuit frigorifique à compression, et retire de la chaleur à l'eau contenue dans l'accumulateur de glace, de sorte que l'eau gèle. Pour le déchargement, la glace fondante retire de la chaleur du mélange d'eau glycolée, de sorte que le mélange refroidisse. Dans le cas de ce refroidissement, l'accumulateur de glace remplace ou soutient l'installation frigorifique à compression.

L'ET 420 contient un accumulateur de glace, une installation frigorifique, un circuit avec du mélange d'eau glycolée, une tour de refroidissement par voie sèche et par voie humide. De la chaleur est extraite du mélange lors de l'évaporation du réfrigérant du circuit frigorifique à compression, et lors de la décharge de l'accumulateur de glace, pendant que de la chaleur est apportée lors de la condensation du réfrigérant. Les tours de refroidissement apportent de la chaleur au mélange ou, selon les besoins, en retirent.

L'acquisition de toutes les grandeurs nécessaires permet d'établir le bilan des processus individuels. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

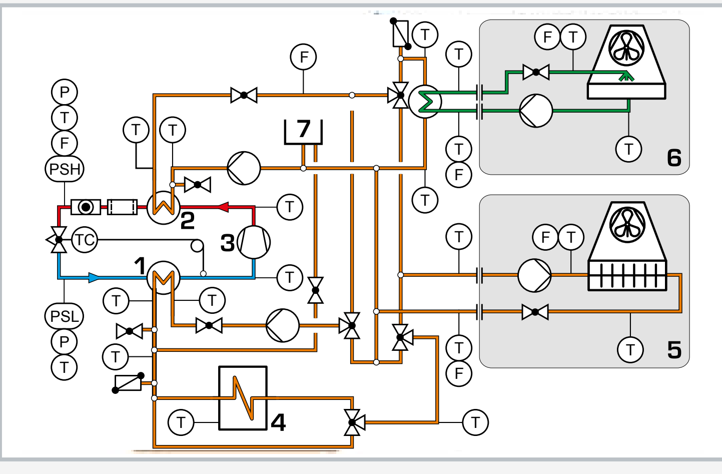
Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique efficace énergétiquement
- fonction et fonctionnement d'un accumulateur de glace
  - charger
  - décharger
- établissement du bilan des flux énergétiques
- transport d'énergie des différents fluides
- cycle frigorifique à compression sur le diagramme log p,h
- fonction et puissance d'une tour de refroidissement par voie humide
- fonction et puissance d'une tour de refroidissement par voie sèche

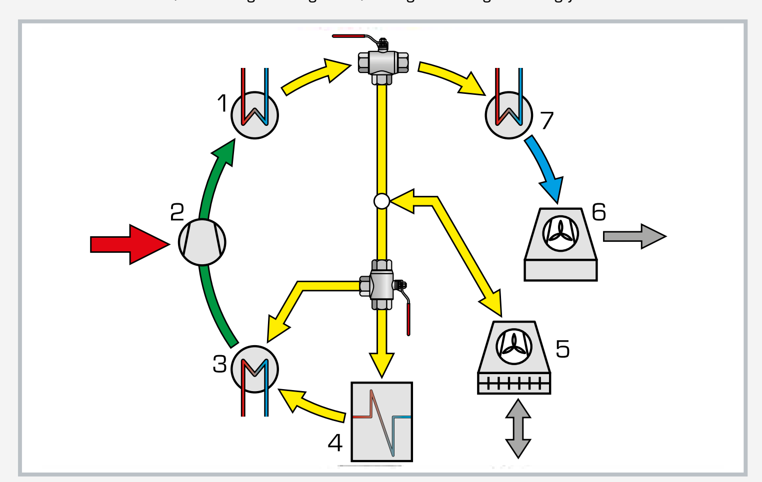
ET 420
Accumulateurs de glace en génie frigorifique



1 éléments d'affichage et de commande, 2 pompe, 3 manomètre, 4 débitmètre, 5 évaporateur, 6 condenseur, 7 compresseur, 8 accumulateur de glace, 9 soupape à 3 voies, 10 réservoir de compensation



1 évaporateur, condenseur, 3 compresseur, 4 accumulateur de glace, 5 tour de refroidissement (voie sèche), 6 tour de refroidissement (voie humide), 7 réservoir de compensation; conduites: vert: eau, bleu-rouge: réfrigérant, orange: mélange d'eau glycolée



Flux énergétiques dans l'installation: 1 condenseur, 2 compresseur, 3 évaporateur, 4 accumulateur de glace, 5 tour de refroidissement (voie sèche), 6 tour de refroidissement (voie humide), 7 échangeur de chaleur à la tour de refroidissement (humide); bleu: eau, jaune: mélange d'eau glycolée, vert: réfrigérant, gris: air, rouge: puissance électrique

Spécification

[1] étude du chargement et du déchargement d'un accumulateur de glace
[2] installation avec accumulateur de glace, installation frigorifique à compression, tours de refroidissement par voies sèche et humide
[3] circuit frigorifique pour R134a avec compresseur, condenseur, évaporateur et soupape de détente
[4] circuits d'eau glycolée avec pompes: refroidissement du condenseur de réfrigérant, chauffage de l'évaporateur de réfrigérant, chargement ou déchargement de l'accumulateur de glace, fonctionnement de la tour de refroidissement par voie sèche
[5] circuit d'eau avec pompe pour le fonctionnement de la tour de refroidissement par voie humide
[6] mesure des températures, des pressions, des débits et de la puissance absorbée pertinents pour établir le bilan des processus
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur, puiss. frigo.: env. 1,7kW à -15/32°C
Pompes (mélange d'eau glycolée)
- débit de refoulement max.: 4,5m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 5,6m

Pompe tour de refroid. par voie humide (eau)
- débit de refoulement max.: 4,5m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 18m

Accumulateur de glace: 150L
Réservoir de compensation: 20L
Tours de refroidissement
- voie humide, puissance nominale: 12kW
- voie sèche, puissance nominale: 13,8kW

Plages de mesure
- température: 12x -20...100°C, 4x -50...150°C, 4x 0...60°C
- pression: 1x -1...9bar, 1x -1...24bar
- débit: 3x 100...1200L/h, 2x 60...1500L/h, 1x 150...1600L/h, 1x 10...100L/h (R134a)
- puissance: 0...2250W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: env. 2200x790x1900mm banc d'essai
Lxlxh: env. 1250x790x1700mm (tour, voie humide)
Lxlxh: env. 1600x900x1140mm (tour, voie sèche)
Poids total: env. 650kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain; ventilation, évacuation d'air
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 tour de refroidissement (voie humide)
1 tour de refroidissement (voie sèche)
1 jeu de flexibles
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

Connaissances de base

Systèmes de ventilation et leurs composants

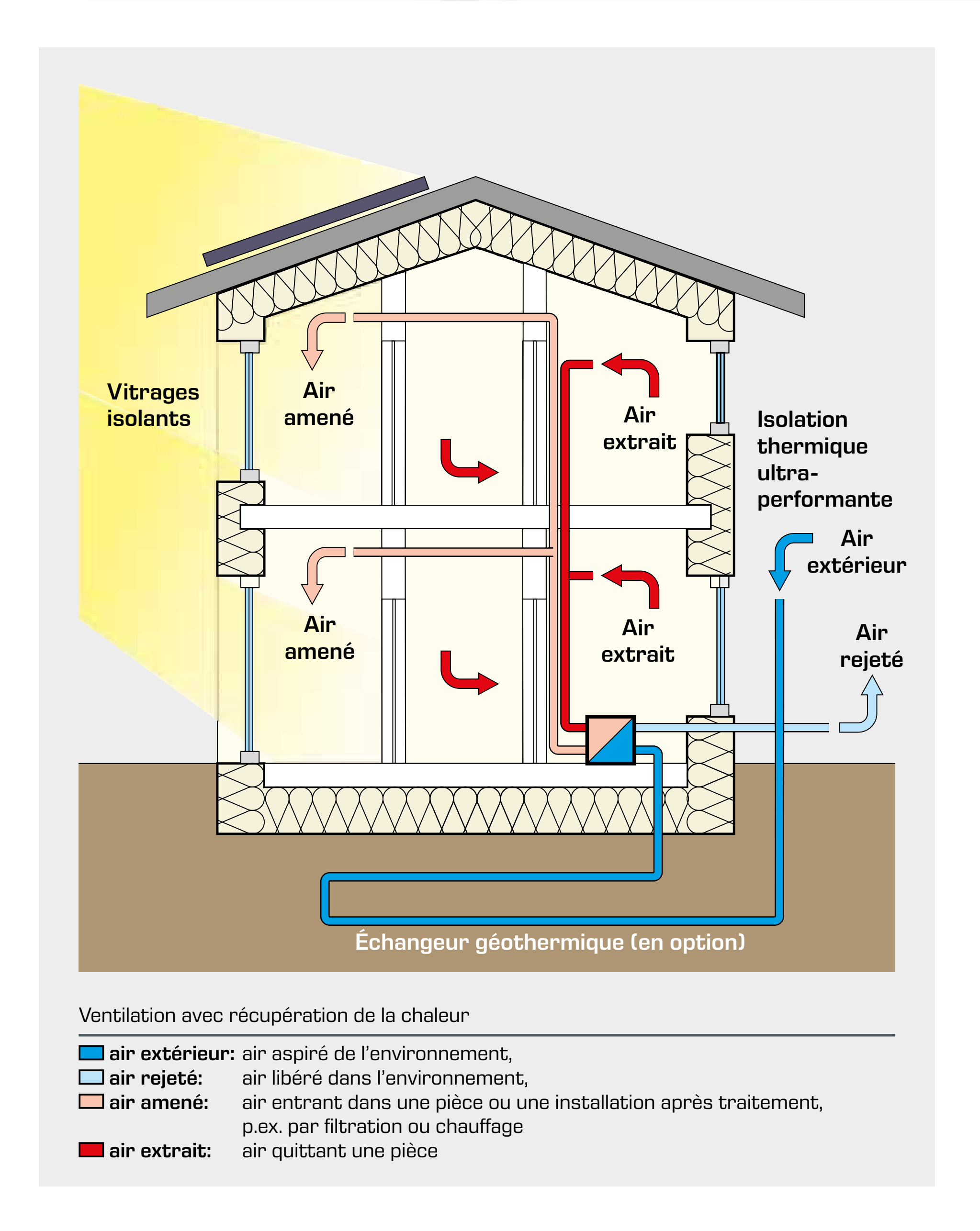
Les systèmes de ventilation, également appelés installations de ventilation et de climatisation, assurent le renouvellement d'air dans les habitations, bureaux et locaux techniques.

Sur les systèmes de ventilation, il s'agit non seulement d'amener et d'évacuer l'air, mais également de tenir compte de **l'énergie thermique:** les systèmes de ventilation sophistiqués sont en mesure de transférer la chaleur de l'air sortant à l'air entrant, de sorte qu'il n'y ait pratiquement pas d'énergie thermique qui quitte le système.

Il existe essentiellement trois types de systèmes:

1. système d'évacuation de l'air: l'air "usagé" est évacué du bâtiment en direction de l'extérieur (air rejeté)
2. système de ventilation: en plus du système d'évacuation de l'air, un système d'air frais alimente les pièces à vivre en air extérieur
3. différentes techniques visant à réaliser des économies d'énergie de chauffage, au moyen, p.ex., d'une récupération de la chaleur ou d'un échangeur géothermique

Ces systèmes sont regroupés sous l'expression ventilation résidentielle dite "contrôlée". À l'inverse, on appelle ventilation résidentielle non contrôlée la ventilation libre d'un espace habitable au moyen de fenêtres, de rainures ou de puits.



Ventilation avec récupération de la chaleur

- **air extérieur:** air aspiré de l'environnement,
- **air rejeté:** air libéré dans l'environnement,
- **air amené:** air entrant dans une pièce ou une installation après traitement, p.ex. par filtration ou chauffage
- **air extrait:** air quittant une pièce



Le dimensionnement des systèmes de ventilation nécessite des connaissances en mécanique des fluides, p.ex. sur les grandeurs caractéristiques des ventilateurs et les pertes de charge dans les éléments de tuyauterie. GUNT traite ces aspects dans la gamme de produits 4 intitulée **"Génie mécanique des fluides".**

Récupération de la chaleur

La récupération de la chaleur désigne des procédés qui utilisent les résidus de chaleur d'un débit massique au terme de son utilisation principale. Si elle n'était pas récupérée, cette chaleur serait perdue. La récupération de la chaleur permet de réduire la consommation d'énergie primaire pour le chauffage des bâtiments.

Les installations de ventilation avec récupération de la chaleur sont aujourd'hui des techniques de pointe. Pour la récupération de la chaleur, des échangeurs de chaleur sont intégrés dans les conduites d'amenée et d'évacuation de l'installation de ventilation. Ils utilisent le différentiel de température entre l'air extrait et l'air extérieur, et fonctionnent selon les besoins. L'énergie thermique de l'air rejeté est utilisée pour chauffer l'air extérieur en hiver, et pour le refroidir en été.



Système de ventilation: en plus du système d'évacuation de l'air, un système d'air frais alimente les pièces à vivre en air extérieur

HL 720
Installation de ventilation



L'illustration montre un appareil similaire.

Contenu didactique/essais

- structure et fonctionnement d'une installation de ventilation
- mesures de pression sur le conduit d'air
- calcul de la puissance d'entraînement électrique du ventilateur
- calcul du débit
- structure et fonctionnemt. de composants tels que
  - grille de protection contre les intempéries
  - persienne
  - filtre
  - échangeur de chaleur (aucune opération)
  - ventilateur
  - couvercle de révision
  - silencieux à coulisse
  - grille de ventilation avec débit ajustable
  - clapet coupe-feu
  - bouches de ventilation du plafond

Description

- **installation de ventilation complète**
- **relation étroite avec la pratique grâce à l'utilisation de composants industriels issus de la technique de ventilation**
- **représentation d'évolutions de pression**

En ingénierie de bâtiment, des installations de ventilation sont utilisées dans les locaux commerciaux, hôpitaux, restaurants ou lieux publics, afin d'assurer le renouvellement de l'air requis dans chacune des pièces. L'air est chauffé ou refroidi par le biais d'un échangeur de chaleur.

HL 720 montre le fonctionnement d'une installation de ventilation et de ses différents composants: les composants utilisés sont courants en technique de ventilation, et offrent donc une relation étroite avec la pratique. L'installation de ventilation est utilisée comme simple système d'alimentation en air.

L'air pénètre par une grille de protection contre les intempéries et traverse les composants de l'installation de ventilation comme, p.ex., la persienne et le filtre. Un ventilateur assure le transport de l'air. Sur la suite du parcours du conduit d'air, sont disposés des composants typiques tels qu'un silencieux à coulisse, un clapet de révision, différentes bouches de ventilation et un clapet coupe-feu.

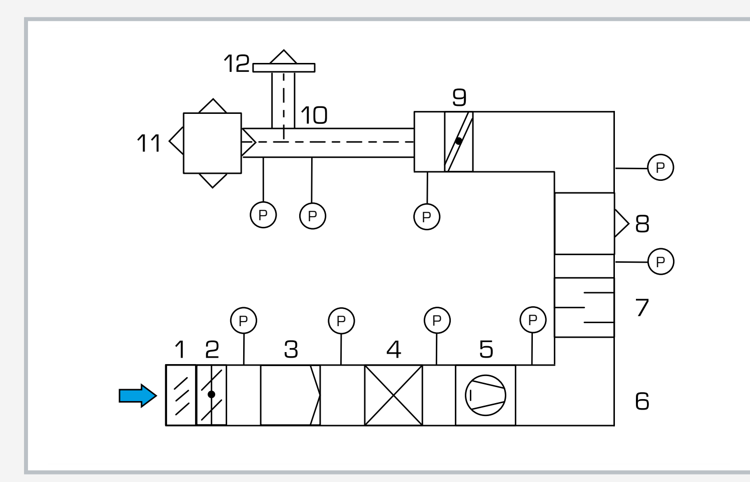
Des fenêtres permettent de visualiser le silencieux à coulisse, le filtre et le ventilateur. Le fonctionnement d'origine des composants est préservé.

L'enregistrement de pressions et de pressions différentielles à des points de mesure pertinents permet de représenter l'évolution de la pression sur l'ensemble de l'installation. La puissance d'entraînement électrique du ventilateur, ainsi que le débit volumétrique d'air, sont le résultat de calculs.

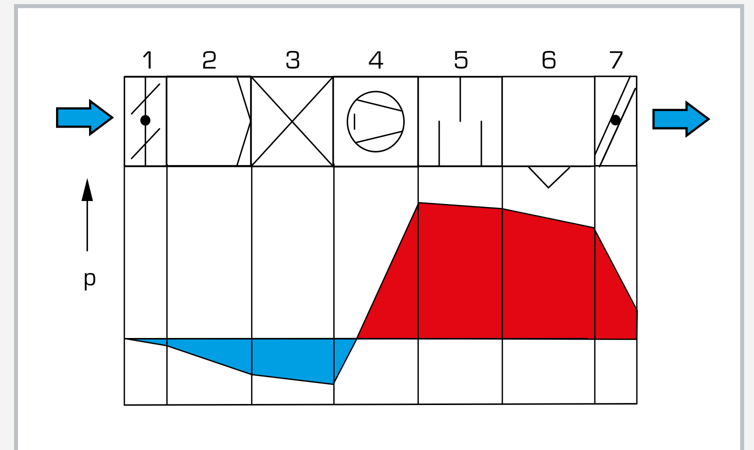
HL 720
Installation de ventilation



1 clapet coupe-feu, 2 manomètre à tube incliné, 3 grille de protection contre les intempéries, 4 persienne, 5 filtre, 6 échangeur de chaleur, 7 ventilateur avec moteur d'entraînement, 8 couvercle de révision, 9 conduit d'air, 10 vanne à disque, 11 bouche de ventilation du plafond, 12 bouche de ventilation murale



1 grille de protection contre les intempéries, 2 persienne, 3 filtre, 4 échangeur de chaleur, 5 ventilateur, 6 conduit d'air, 7 silencieux à coulisse, 8 bouche de ventilation murale, 9 clapet coupe-feu, 10 jonction, 11 bouche de ventilation pour montage au plafond, 12 vanne à disque; P pression



Évolution de la pression à l'intérieur de l'installation de ventilation: 1 persienne, 2 filtre, 3 échangeur de chaleur, 4 ventilateur, 5 silencieux à coulisse, 6 bouche de ventilation murale, 7 clapet coupe-feu; rouge: surpression, bleu: sous pression

Spécification

[1] fonctionnement d'une installation de ventilation
[2] tous les composants issus de la technique de ventilation, en partie avec fenêtres
[3] grille de protection contre les intempéries et persienne ajustable à l'entrée d'air
[4] filtre de purification de l'air
[5] ventilateur radial entraîné par une courroie
[6] 2 silencieux à coulisse
[7] différentes bouches de ventilation pour la distribution de l'air dans la pièce: vanne à disque, bouche de ventilation du plafond et grille de ventilation avec débit ajustable
[8] couvercle de révision à des fins d'inspection
[9] le clapet coupe-feu empêche la propagation de feux et de fumées dans le conduit d'air
[10] conduit d'air avec raccords de mesure de la pression
[11] mesures de pression avec un manomètre à tube incliné
[12] mesure de l'intensité pour le calcul de la puissance absorbée du ventilateur
[13] calcul du débit par la pression différentielle

Caractéristiques techniques

Conduit d'air
- 2 sections avec lxh 630x305mm et 630x630mm

Ventilateur
- débit de refoulement max.: 2500m^3/h
- moteur d'entraînement: 750W

Plages de mesure
- pression: 0...7,5mbar
- courant: 0...4A

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1960x900x2000mm
Poids: env. 263kg

Liste de livraison

1 installation d'essai
1 documentation didactique

Connaissances de base

Bases de climatisation

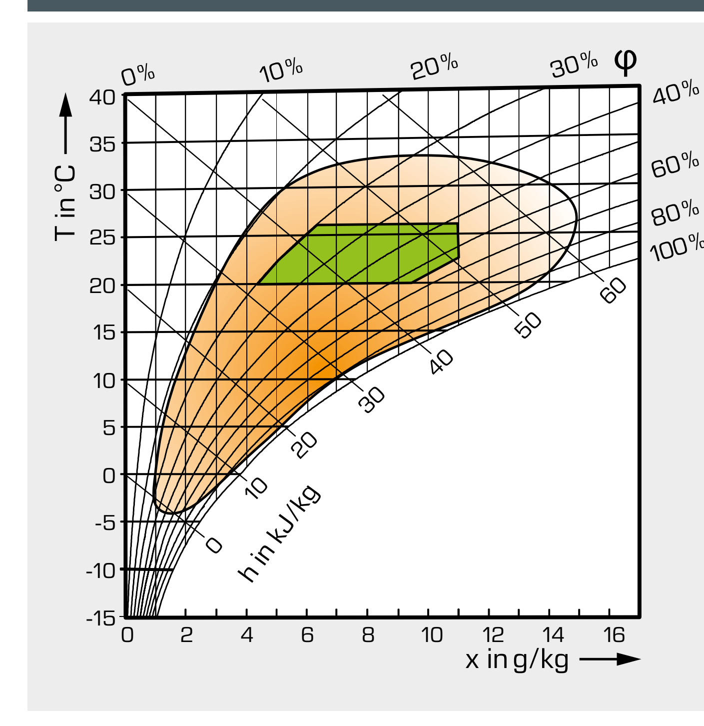
L'objectif de la climatisation consiste à créer un climat ambiant agréable pour les êtres humains. Les conditions de confort sont standardisées selon les normes DIN 1946 et DIN EN 3779. Alors que la température doit se situer entre 20 et 26°C, l'humidité relative de l'air doit se situer entre 30 et 65%.

Climatiser signifie donc qu'il convient d'influencer l'état de l'air ambiant, de sorte qu'un être humain se sente bien et que sa performance ne soit pas perturbée.

L'état de l'air est caractérisé par la température, la pression et la teneur en humidité.

(En général, la pression de l'air n'est pas modifiée. Exception: la climatisation de la cabine dans un avion)

Zone de confort dans le diagramme h,x pour air humide de Mollier



Dans le diagramme h,x, la température **T**, l'enthalpie **h** et l'humidité relative **φ** sont indiquées au-dessus de l'humidité absolue **x**.

Dans le diagramme donné à titre d'exemple, la zone de confort selon la norme DIN 1946 est dessinée en vert.

La surface en orange représente le domaine des températures et des humidités extérieures, telles qu'elles surviennent en Europe centrale. On reconnaît que, souvent, les températures et les humidités extérieures ne sont pas conformes aux conditions de confort, et qu'il faut procéder à la climatisation de l'air ambiant.

En Europe centrale, cela consiste fréquemment à procéder à un chauffage et à une humidification, alors que sous les Tropiques, il faut procéder à un refroidissement et à une déshumidification.

Pour une climatisation complète, on obtient quatre fonctions partielles:

- chauffer
- refroidir
- humidifier
- déshumidifier

Humidité de l'air

De l'air humide contient de l'eau dans un état de vapeur. On fait une distinction entre une humidité absolue et une humidité relative. L'humidité absolue est mesurée en g H_2O/kg d'air sec.

Le fait le plus important dans le cadre de la climatisation, c'est l'humidité relative. Elle est perçue par l'homme. L'humidité relative est mesurée en % de l'humidité maximale qu'il est possible d'obtenir à une certaine température. 100 % d'humidité relative signifie que l'air ne peut plus absorber d'air supplémentaire; il est saturé. L'humidité excédentaire reste dès lors dans l'air, sous forme de liquide (brouillard). La courbe de saturation, c'est la courbe limite inférieure dans le diagramme h,x.

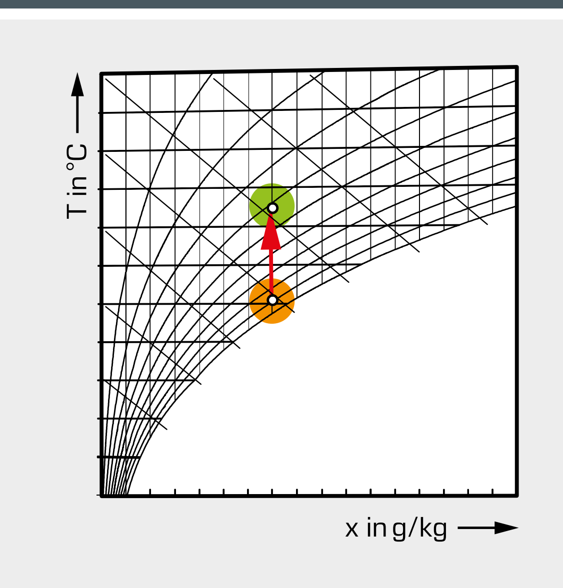
Les processus élémentaires de la climatisation

Les processus de base de la climatisation peuvent être particulièrement bien présentés dans un diagramme h,x.

Un changement de température, l'humidité absolue étant constante, entraîne toujours également un changement de l'humidité relative et de l'enthalpie. De la même manière, l'humidité relative et l'enthalpie changent si l'humidité absolue change et que la température est constante.

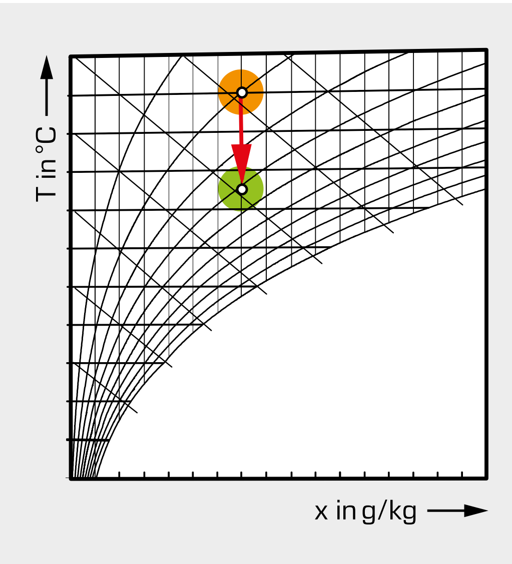
Ainsi, il n'est pas possible d'ajuster la température et l'humidité relative indépendamment l'une de l'autre. Par exemple, une augmentation de la température de l'air (chauffage) signifie toujours aussi une diminution de l'humidité relative. Pour obtenir une humidité relative constante, il faut toujours également procéder à une humidification lors du chauffage. À l'inverse, l'humidité relative augmente lors du refroidissement.

Quatre processus élémentaires de la climatisation dans le diagramme h,x



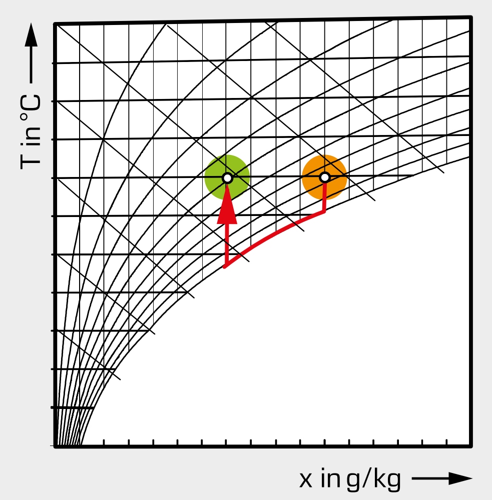
Chauffer

arrivée de chaleur, l'humidité relative diminue



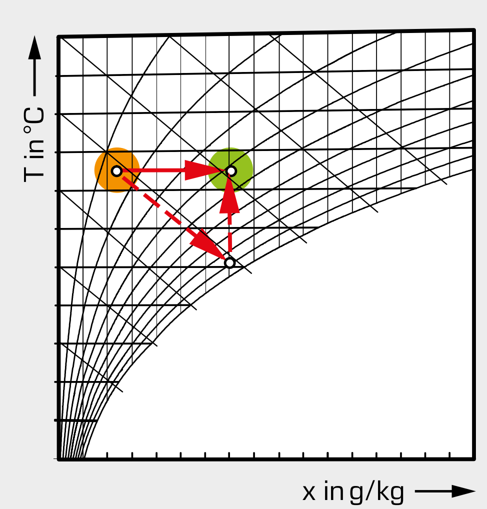
Refroidir

retrait de chaleur, l'humidité relative augmente



Déshumidifier

refroidissement à 100% d'humidité relative (saturation), condensation de l'humidité sur des surfaces froides. Ensuite, de nouveau, chauffage à la température souhaitée.



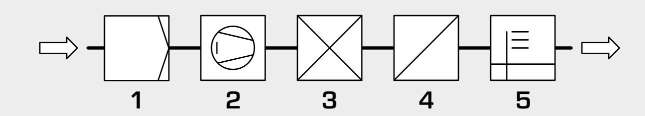
Humidifier

Arrivée de vapeur d'eau ou de brouillard d'eau (en cas de brouillard, un chauffage supplémentaire est nécessaire afin de compenser le refroidissement dû à une enthalpie de vapeur 1-1'-2)

Connaissances de base

Assemblage d'une installation de climatisation

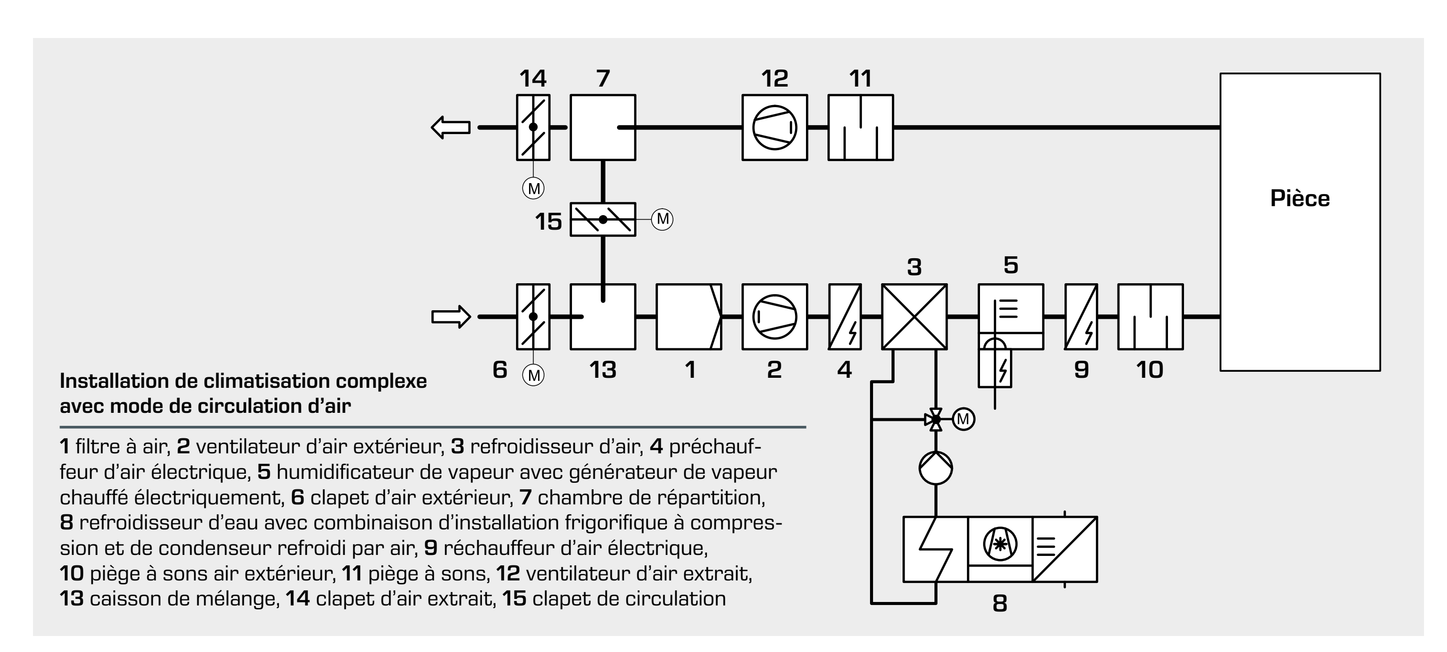
Installation de climatisation complète simple



Dans le cas le plus simple, une installation de climatisation complète contient les composants suivants:

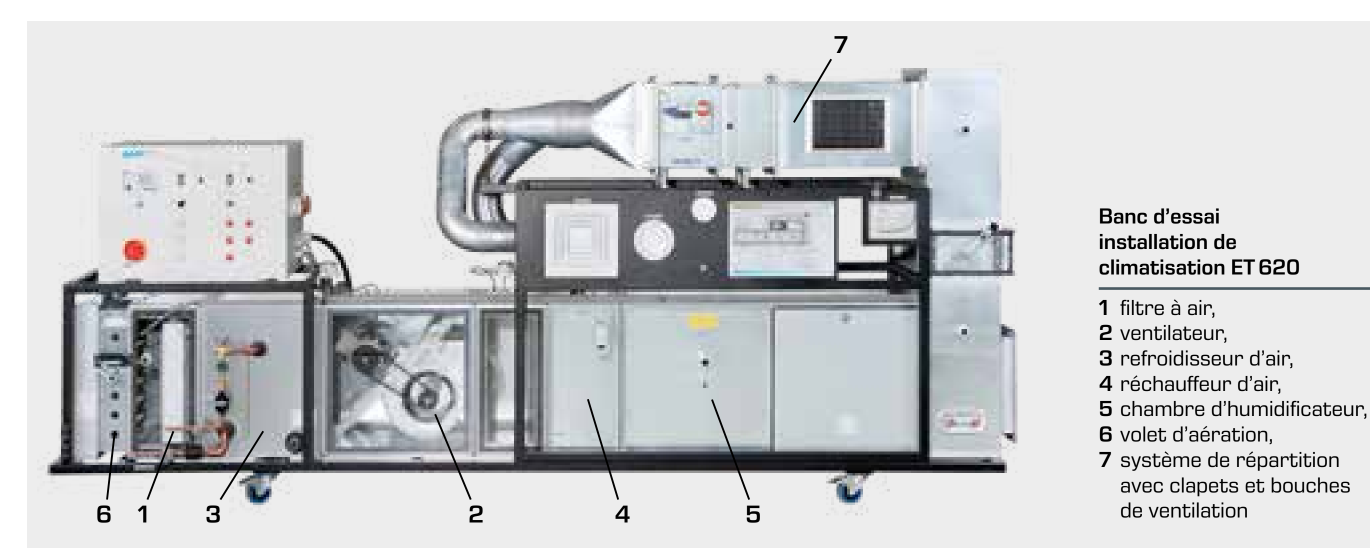
1 filtre à air: il élimine la poussière et les impuretés contenues dans l'air
2 ventilateur: il aspire l'air et l'achemine à travers l'installation
3 refroidisseur d'air: il refroidit et déshumidifie l'air
4 réchauffeur d'air: il chauffe l'air et compense la perte de température lors de la déshumidification et de l'humidification
5 humidificateur de l'air: il apporte de l'humidité à l'air

Bien souvent, des installations de climatisation réelles ont une structure plus complexe. Afin de faire des économies d'énergie, l'air extrait provenant de la pièce peut de nouveau être acheminé dans celle-ci, après le traitement. On parle dès lors du mode de circulation d'air. Le ratio entre la circulation d'air et l'air extérieur est géré via des vannes papillon. Dans le schéma présenté ci-dessous, le refroidisseur d'air est alimenté avec de l'eau froide provenant d'un refroidisseur d'eau. L'humidificateur d'air et le réchauffeur d'air sont chauffés électriquement.



Installation de climatisation complexe avec mode de circulation d'air

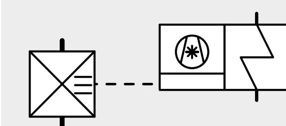
1 filtre à air, **2** ventilateur d'air extérieur, **3** refroidisseur d'air, **4** préchauffeur d'air électrique, **5** humidificateur de vapeur avec générateur de vapeur chauffé électriquement, **6** clapet d'air extérieur, **7** chambre de répartition, **8** refroidisseur d'eau avec combinaison d'installation frigorifique à compression et de condenseur refroidi par air, **9** réchauffeur d'air électrique, **10** piège à sons air extérieur, **11** piège à sons, **12** ventilateur d'air extrait, **13** caisson de mélange, **14** clapet d'air extrait, **15** clapet de circulation



Banc d'essai installation de climatisation ET 620

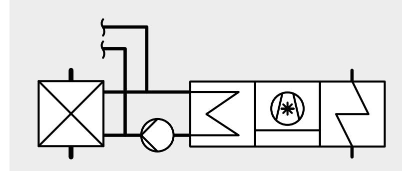
1 filtre à air,
2 ventilateur,
3 refroidisseur d'air,
4 réchauffeur d'air,
5 chambre d'humidificateur,
6 volet d'aération,
7 système de répartition avec clapets et bouches de ventilation

Refroidisseurs d'air



- **Évaporateur direct d'une installation frigorifique à compression**

  Avantage: assemblage simple et peu coûteux



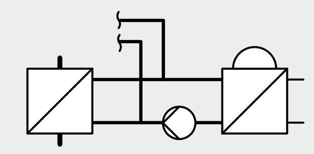
- **Circuit d'eau froide avec installation frigorifique à compression**

  Avantage: il est possible de commander plusieurs refroidisseurs via une installation de climatisation



évaporateur direct comme refroidisseur d'air

Réchauffeurs d'air



- **Réchauffeur d'air électrique**

  Avantage: assemblage simple, facile à régler

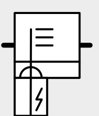
- **Circuit d'eau chaude avec chaudière**

  Avantage: tous les combustibles et toutes les sources de chaleur sont possibles, et il est possible de connecter plusieurs réchauffeurs d'air à une source de chaleur



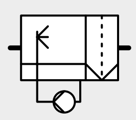
réchauffeur d'air électrique

Humidificateurs d'air



- **Humidificateur de vapeur**

  Avantage: pas de refroidissement par évaporation, hygiénique



- **Humidificateur à pulvérisation, équipé d'un séparateur de gouttes**

  Avantage: peut également fonctionner comme refroidisseur d'air



humidificateur de vapeur

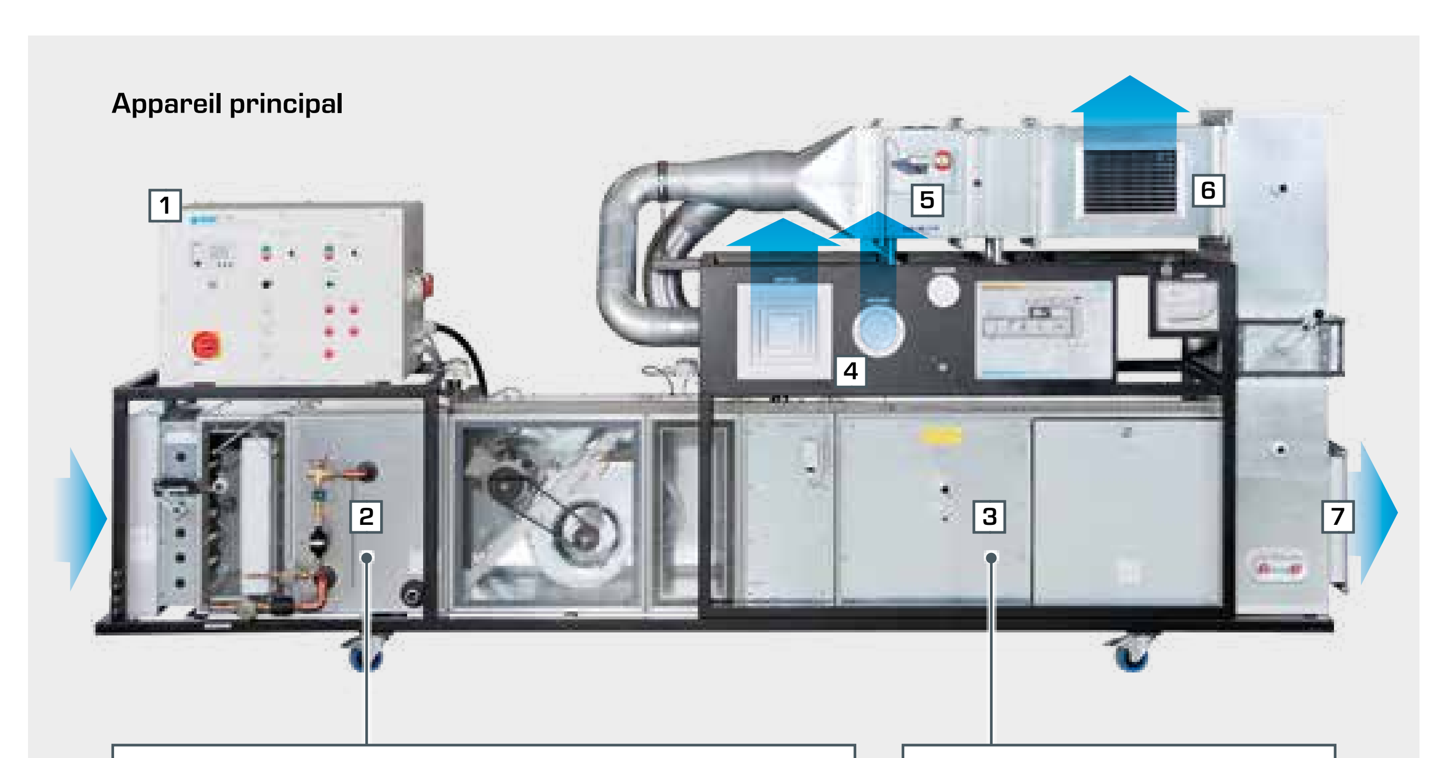


Un exemple emprunté à la pratique: des installations de climatisation industrielles équipées de grands filtres, pour la construction d'une salle blanche

ET 620
Installation de climatisation et de ventilation

L'ET 620 est une installation de climatisation réelle équipée d'un système de conduits de l'air connecté. Le banc d'essai se compose de l'appareil principal, d'un groupe frigorifique et d'un humidificateur de vapeur. L'air climatisé traverse le conduit d'air, et se répand dans la pièce en passant par des bouches de ventilation. De manière alternative, il est également possible de connecter un système de conduits externe.

Appareil principal



Groupe frigorifique

Humidificateur de vapeur



1 coffret de commande avec API, 2 refroidisseur avec raccordements pour le groupe frigorifique, 3 trajet d'humidification avec raccordements pour l'humidificateur de vapeur, 4+6 bouches de ventilation pour l'air ambiant climatisé, 5 clapet coupe-feu, 7 tubulure de raccordement (norme) pour un système de conduits externe

Des composants provenant du génie climatique

Commande par API

La commande de l'installation de climatisation s'effectue par API. La gestion des différentes fonctions de l'API est apprise progressivement:

- affichage d'alarmes
- affichage des valeurs mesurées
- introduction des grandeurs de référence
- introduction des paramètres de régulateur
- introduction de valeurs limites

...et beaucoup d'autres notions.



La sécurité en matière de génie climatique

Le conduit d'air contient un clapet coupe-feu. On utilise des clapets coupe-feu pour pouvoir couper le réseau de ventilation du foyer d'incendie, en cas d'incendie. Un ressort et un élément de déclenchement thermique servent à déclencher et à fermer le clapet coupe-feu. En cas d'incendie, la soudure fond, les deux plaques métalliques se détachent et le ressort ferme le clapet coupe-feu.



Clapet coupe-feu



Élément de déclenchement avec brasure intacte



Élément de déclenchement avec brasure fondue

Bouches de ventilation typiques

Pour que des êtres humains ressentent du bien-être dans le climat d'une pièce, il faut éviter des courants d'air puissants.

Le conduit d'air de l'installation ET 620 est équipé de différents types de bouches de ventilation. La mission des bouches de ventilation consiste dans la répartition de l'air dans la pièce, avec une vitesse minimale de l'air. Il est possible de comparer la répartition de l'air, la vitesse de l'air et la perte de pression des différentes bouches de ventilation.



Grille d'aération

Bouche de ventilation au plafond (à gauche) et soupape à disque (à droite)

ET 620
Installation de climatisation et de ventilation



Description

- **installation complète de climatisation et de ventilation pour l'utilisation en laboratoire**
- **relation étroite avec la pratique, grâce à une échelle réelle et à l'utilisation de composants courants sur le marché**
- **fonctionnement manuel ou automatique avec le régulateur de climatisation API**
- **raccordement possible à un système de conduit d'air externe**

La structure d'essai représente une installation de climatisation et de ventilation réelle. La puissance de l'installation est suffisante pour climatiser une salle de laboratoire.

L'installation de climatisation et de ventilation comprend un élément filtrant, un ventilateur avec régulation de vitesse, un évaporateur direct comme refroidisseur d'air, un réchauffeur d'air électrique et une humidification avec humidificateur à vapeur. Les fonctions suivantes sont possibles: chauffer / refroidir et humidifier / déshumidifier. Les composants actifs peuvent en outre être lancés un à un manuellement, ou utilisés en mode automatique par le biais d'un régulateur de climatisation API central.

Le régulateur de climatisation permet de régler la température et l'humidité de l'air indépendamment l'une de l'autre. Des programmes horaires permettent, comme dans la réalité, un fonctionnement variable selon l'heure de la journée ou le jour de la semaine. Les pertes de pression peuvent être mesurées sur n'importe quelle section du conduit.

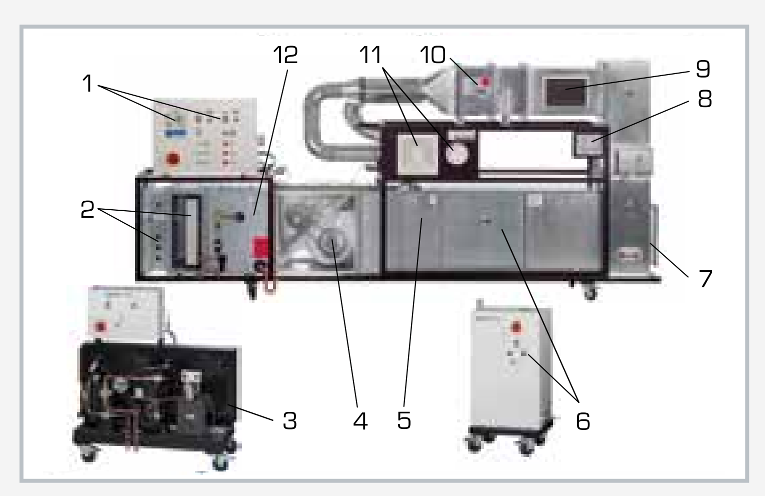
Tous les composants courants comme les filtres, réchauffeur d'air / refroidisseur d'air, sorties, détecteur de fumée, persiennes, clapets de révision et clapets coupe-feu sont présents et peuvent faire l'objet d'une explication. Une tubulure de rallonge normalisée dans le conduit d'air permet la liaison avec un système de conduit d'air externe, rendant ainsi possible la climatisation d'un espace existant.

L'installation de climatisation et de ventilation est composée de trois parties indépendantes les unes des autres: appareil principal, humidificateur à vapeur et groupe frigorifique. La liaison se fait par l'intermédiaire de tuyaux. En raison de la chaleur perdue, il convient de ne pas mettre le groupe frigorifique dans la pièce à climatiser.

Contenu didactique/essais

- principes de base des techniques de climatisation et de ventilation adaptés à la pratique
- structure et maintenance d'une installation de climatisation et de ventilation
- principes du conditionnement de l'air ambiant (diagramme h,x)
- explication des composants: filtres, réchauffeur d'air, refroidisseur d'air, humidificateur, groupe frigorifique, régulateur de climatisation, clapets, sorties
- fonctionnement des dispositifs de sécurité
- mesure de l'évolution de la pression et des pertes de pression
- impact du refroidisseur d'air, du réchauffeur d'air et de l'humidificateur sur l'état de l'air à la sortie
- étude du comportement de régulation d'un régulateur de climatisation, détermination de facteurs limitants

ET 620
Installation de climatisation et de ventilation



1 coffret de commande avec régulateur, 2 entrée d'air avec filtre, 3 groupe frigorifique, 4 ventilateur, 5 réchauffeur d'air, 6 humidificateur de vapeur, 7 tubulure de rallonge normalisée pour système de conduit d'air externe, 8 manomètre à tube incliné, 9 grille de ventilation avec ajustage de quantité, 10 clapet coupe-feu, 11 bouches de ventilation du plafond, 12 refroidisseur d'air (évaporateur direct)

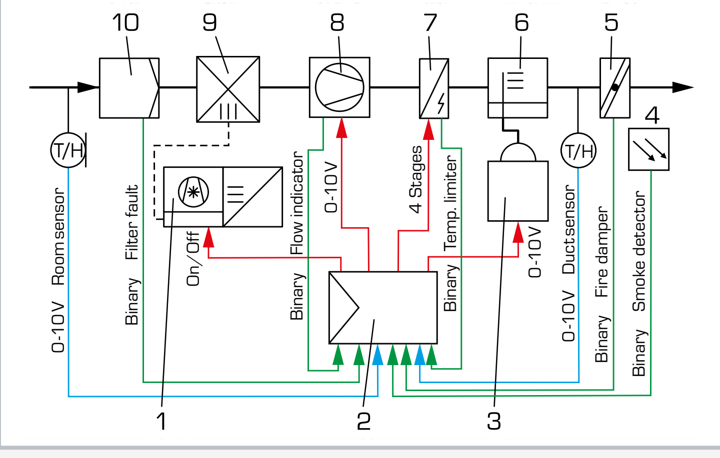
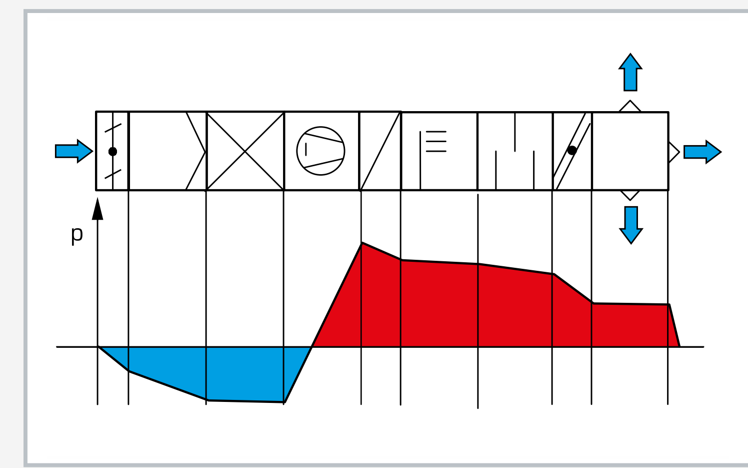


Schéma de commande et de régulation: 1 groupe frigorifique, 2 régulateur, 3 humidificateur de vapeur, 4 détecteur de fumée, 5 clapet coupe-feu, 6 section de diffusion de la vapeur, 7 réchauffeur d'air électrique, 8 ventilateur, 9 refroidisseur d'air (évaporateur direct), 10 filtre; T/H température/humidité



Évolution de la pression dans l'installation

Spécification

[1] installation de climatisation et de ventilation avec 3 parties indépendantes: appareil principal, groupe frigorifique et humidificateur à vapeur
[2] fonctionnement manuel ou automatique avec le régulateur de climatisation API
[3] appareil principal avec conduit d'air, ventilateur, installation de climatisation
[4] installation de climatisation avec évaporateur direct comme refroidisseur d'air, réchauffeur d'air électrique, humidification
[5] des tuyaux font la liaison entre évaporateur direct/groupe frigorifique, système humidification/humidificateur à vapeur
[6] conduit d'air en tôle d'acier galvanisé avec fenêtres et raccords de mesure de la pression pour l'enregistrement des évolutions de pression
[7] conduit d'air avec filtre, persienne, bouche de ventilation du plafond, grille de protection contre les intempéries, grille de ventilation, clapet coupe-feu, clapet de révision, silencieux à coulisse, détecteur de fumée
[8] tubulure de rallonge normalisée pour la liaison avec le système de ventilation externe
[9] agent réfrigérant R404a, sans CFC

Caractéristiques techniques

Ventilateur, vitesse de rotation réglée: 0...1500min^{-1}
- débit volumétrique d'air max.: 2500m^3/h
- niveau de pression max.: 715Pa
- puissance du moteur d'entraînement: 1,1kW

Réchauffeur d'air, 4 niveaux: 0-5-10-15-20kW
Refroidisseur d'air (évap. direct), puiss. frigo.: 27kW
Groupe frigorifique
- puissance frigo. nom.: env. 16,6kW à 7,2/32°C
- puissance absorbée: env. 7,4kW à 7,2/32°C

Humidificateur à vapeur
- capacité de vapeur: 10kg/h, puiss. absorbée: 7,5kW

Tubulure de rallonge normalisée externe: 400x400mm
Sections du conduit
- en bas: lxh: 630x630mm, en haut: lxh: 358x358mm

Manomètre à tube incliné: 0...750Pa

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 3870x850x1760mm; 540kg (banc d'essai)
Lxlxh: 1110x740x1120mm; 163kg (groupe frigorifique)
Lxlxh: 510x500x1060mm; 50kg (humidificateur)

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 groupe frigorifique
1 humidificateur à vapeur
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



ET 915
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique

L'unité de base ET 915, système d'exercices HSI génie frigorifique et climatique, propose des essais de base pour les différents domaines du génie frigorifique et du génie climatique.

HSI correspond à notre concept didactique global: **H**ardware – **S**oftware – **I**ntegrated.

Génie frigorifique

ET 915.01
Modèle réfrigérateur



ET 915.02
Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation



Génie climatique

ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple





ET 915.07
Modèle de climatisation



Tous les articles comprennent des éléments d'expansion et des évaporateurs



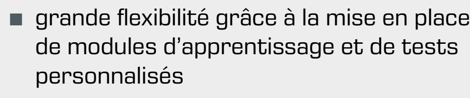
L'unité de base ET 915 comprend les composants principaux que sont le compresseur et le condenseur

Système modulaire offrant de nombreuses possibilités didactiques

Logiciel d'apprentissage

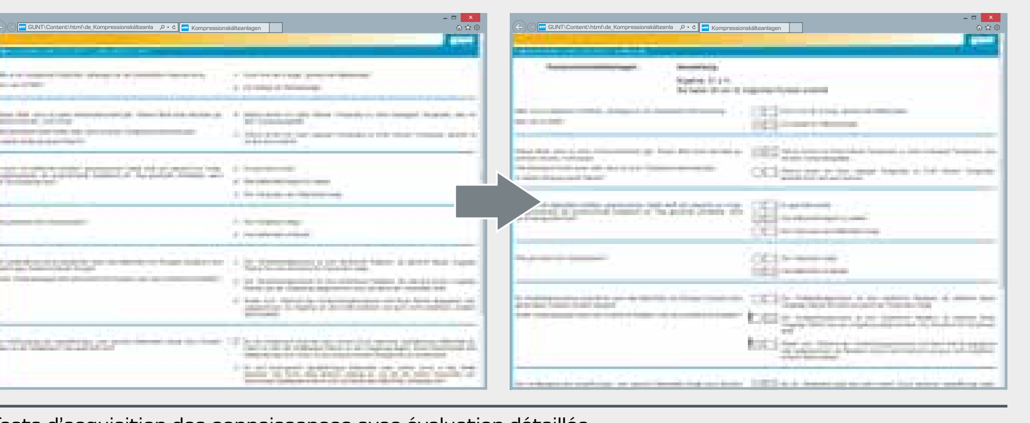
...avec un enseignement didactique de qualité

- utilisation du logiciel d'apprentissage sur le PC personnel de l'élève ou de l'étudiant
- cours complet de génie frigorifique et climatique, avec tests d'acquisition des connaissances
- grande flexibilité grâce à la mise en place de modules d'apprentissage et de tests personnalisés
- interface intuitive





E-Learning



Tests d'acquisition des connaissances avec évaluation détaillée

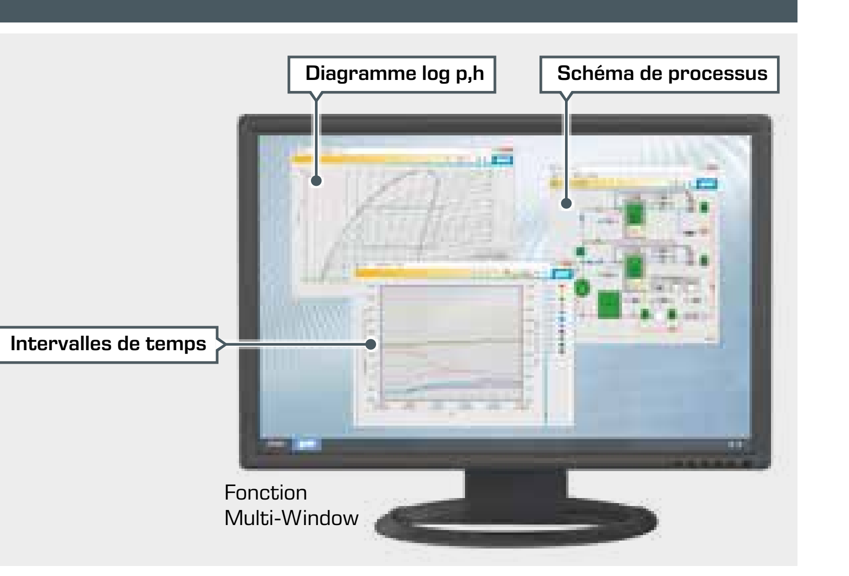
Contrôle ciblé des contenus enseignés

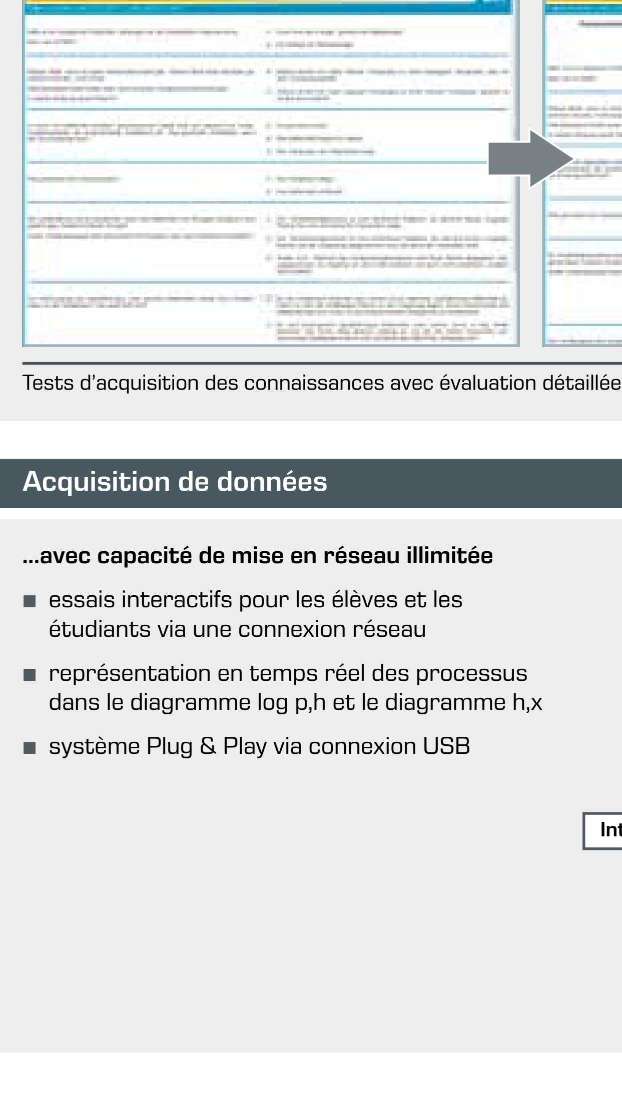
- suivi discret et automatique de la progression des acquis
- identification des lacunes et soutien ciblé

Acquisition de données

...avec capacité de mise en réseau illimitée

- essais interactifs pour les élèves et les étudiants via une connexion réseau
- représentation en temps réel des processus dans le diagramme log p,h et le diagramme h,x
- système Plug & Play via connexion USB





ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple



Description

■ **modèle d'une installation de climatisation simple pour le refroidissement de pièces**
■ **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.06 est une partie du système d'exercices HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel de réfrigérateur domestique est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet pour le refroidisseur d'air.

Dans les installations de refroidissement de pièces, l'air à refroidir est aspiré hors de l'espace par un ventilateur, refroidi et redirigé vers l'espace à refroidir. Les bases du refroidissement de pièces, ainsi que les composants d'une installation de climatisation, sont présentés avec ce modèle.

Le modèle ET 915.06 comporte un conduit d'air à front transparent, un ventilateur de déplacement d'air, un évaporateur comme refroidisseur d'air, ainsi qu'une soupape de détente. Tous les composants sont disposés de manière visible sur un panneau.

La commande de composants individuels de l'installation, ici un compresseur et un ventilateur, se produit par le logiciel. Le logiciel offre la possibilité de simuler des pannes.

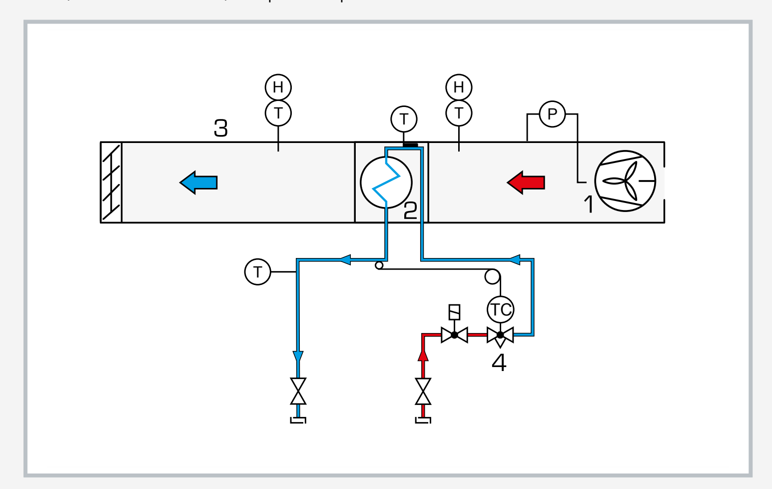
Le débit volumétrique d'air est déterminé par une mesure de pression différentielle. Les températures et l'humidité sont prises en compte par des capteurs avant et après l'évaporateur, numérisées et représentées de manière dynamique sur le logiciel.

Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.06. Une évaluation de performance contrôle le progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

Contenu didactique/essais

■ installation de climatisation pour le refroidissement de pièces et ses composants principaux
■ méthode de travail d'un évaporateur comme refroidisseur d'air
■ simulation de pannes

ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple



1 évaporateur comme refroidisseur d'air, 2 conduit d'air, 3 capteur de température et d'humidité, 4 schéma de processus, 5 raccords à l'ET 915, 6 électrovanne, 7 soupape de détente, 8 ventilateur radial, 9 capteur de pression différentielle

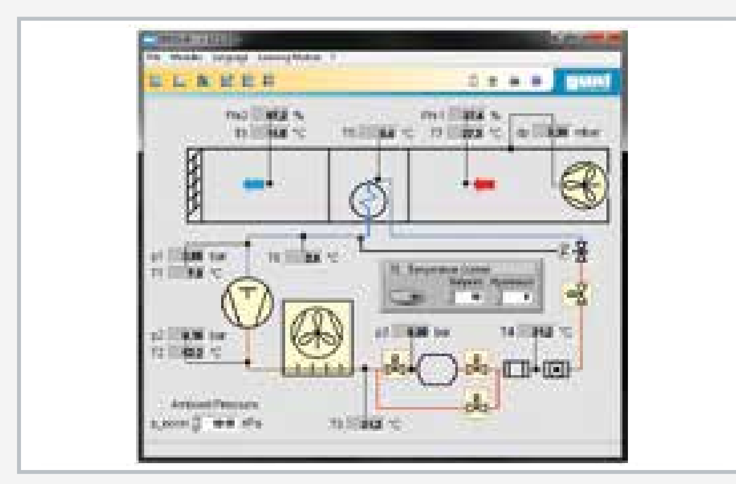


Schéma de processus du modèle d'une installation de climatisation simple:
1 ventilateur radial, 2 refroidisseur d'air, 3 conduit d'air, 4 soupape de détente; T température, P pression, H humidité; flèche rouge: chaud, flèche bleue: froid; bleu: basse pression, rouge: haute pression

Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] modèle d'une installation de climatisation à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercices GUNT avec technologie HSI
[3] conduit d'air avec front transparent
[4] évaporateur comme refroidisseur d'air
[5] ventilateur radial avec vanne papillon
[6] soupape de détente thermostatique faisant office d'élément d'expansion
[7] capteurs de température, d'humidité et de pression différentielle pour la détermination du débit volumétrique d'air
[8] commande des composants individuels et de l'installation, et simulation de pannes par le logiciel
[9] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Conduit d'air: 136x136x435mm

Évaporateur comme refroidisseur d'air
■ surface de transfert: env. 900cm^2

Ventilateur radial
■ puissance absorbée max.: 80W
■ débit de refoulement max.: 255m^3/h

Plages de mesure
■ température: 2x ±50°C, 2x 0...100°C
■ pression différentielle: 0...10mbar
■ humidité: 2x 10...100% rel.

Lxlxh: 970x370x600mm
Poids: env. 35kg

Liste de livraison

1 modèle d'installation de climatisation simple, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB

ET 915.07
Modèle de climatisation



Description

- **modèle complet d'une installation de climatisation complète**
- **chauffer, refroidir, humidifier et déshumidifier**
- **modes d'air extérieur et de circulation d'air possibles**
- **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.07 est une partie du système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel d'installation de climatisation complète est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet pour le refroidisseur d'air.

Le climat ambiant est formé par l'action combinée de la température ambiante, de la température de chauffage et de l'humidité de l'air. L'objectif de la climatisation de pièces est de façonner un climat ambiant qui réponde aux besoins des personnes ou des denrées sensibles. Ce modèle permet de présenter le fonctionnement d'une installation de climatisation, ses composants principaux, ainsi que les modes de fonctionnement de circulation d'air et d'air extérieur.

Le modèle ET 915.07 comporte deux conduits d'air à front transparent. Pendant que le conduit d'air supérieur fait office de chambre de climatisation, le refroidisseur d'air, deux réchauffeurs d'air électrique et un humidificateur à vapeur se trouvent dans le conduit d'air intérieur. Un ventilateur se trouve entre les deux conduits d'air, de sorte que l'air circule. Un volet entraîné par un moteur se trouve dans le conduit d'air supérieur, et permet une commutation entre les modes de circulation d'air extérieur et de circulation d'air. Selon la commutation choisie des deux réchauffeurs d'air, du refroidisseur d'air et de l'humidificateur, l'air dans le système de canaux peut être refroidi, chauffé, humidifié ou déshumidifié.

La commande de composants individuels de l'installation se produit par le logiciel. La température et l'humidité sont prises en compte par des capteurs avant et après l'évaporateur, ainsi que dans la chambre de climatisation, numérisées et représentées de manière dynamique sur le logiciel. Le conditionnement de l'air peut être suivi online sur le diagramme h,x.

Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.07. Une évaluation de performance contrôle les progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

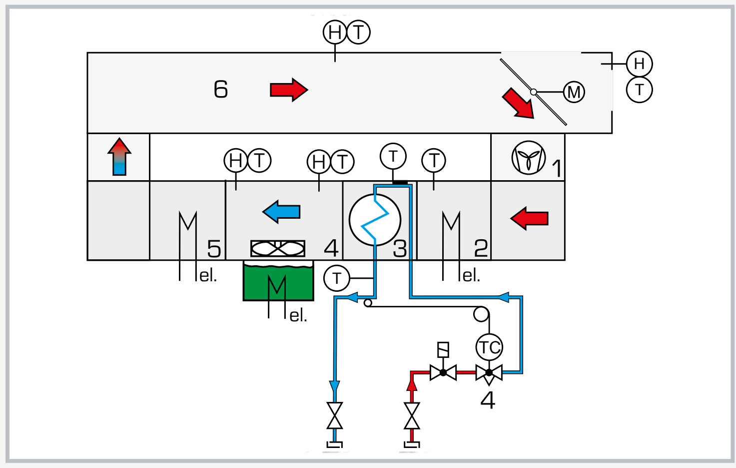
Contenu didactique/essais

- installation de climatisation et ses composants principaux
- chauffage et refroidissement sur le diagramme h,x
- humidification et déshumidification sur le diagramme h,x
- mode de circulation d'air extérieur et de circulation d'air
- simulation de pannes

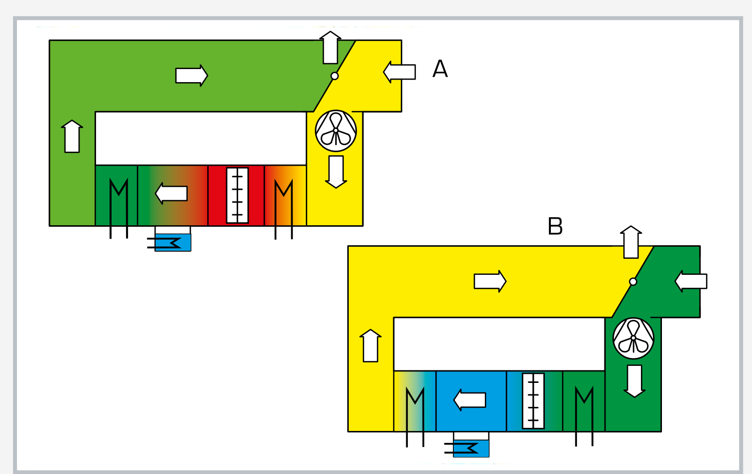
ET 915.07
Modèle de climatisation



1 conduit d'air, 2 réchauffeur d'air, 3 schéma de processus, 4 humidificateur d'air, 5 raccords à l'ET 915, 6 évaporateur, 7 soupape de détente, 8 préchauffeur d'air, 9 ventilateur, 10 capteur d'humidité et de température, 11 volet de ventilation



Climatisation en mode de circulation d'air:
1 ventilateur, 2 préchauffeur d'air, 3 refroidisseur d'air, 4 humidificateur d'air, 5 réchauffeur d'air, 6 conduit d'air, 7 volet de ventilation avec servomoteur, 8 soupape de détente; T température, P pression, H humidité; flèche rouge: chaud; flèche bleue: froid, bleu: basse pression, rouge: haute pression



Climatisation avec mode de circulation d'air extérieur;
A: humidification, B: déshumidification; jaune: sec, vert: humide, bleu: refroidir, rouge: chauffer

Spécification

[1] modèle d'une installation de climatisation à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercice GUNT avec technologie HSI
[3] conduit d'air avec front transparent et volet de ventilation ajustable pour mode de circulation d'air ou de circulation d'air extérieur
[4] évaporateur comme refroidisseur d'air
[5] 2 dispositifs de chauffage comme préchauffeur ou de réchauffeur d'air
[6] humidificateur d'air avec interrupteur à flotteur, ventilateur, affichage du niveau de remplissage
[7] soupape de détente thermostatique comme élément d'expansion
[8] capteurs d'acquisition de température, ainsi que capteur combiné d'humidité et de température
[9] commande des composants individuels et de l'installation, et simulation de pannes par le logiciel
[10] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[11] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Conduit d'air, en haut: 136x136x800mm

Évaporateur comme refroidisseur d'air
- surface de transfert: env. 900cm^2

Réchauffeur d'air
- 2x 250W

Ventilateur axial
- puissance absorbée max.: 20W
- débit de refoulement max.: 160m^3/h

Humidificateur
- dispositif de chauffage: 200W

Plages de mesure
- température: 2x -50...50°C, 5x 0...50°C
- humidité rel.: 4x 10...100%

Lxlxh: 850x400x680mm
Poids: env. 51kg

Liste de livraison

1 modèle de climatisation, rempli d'agent réfrigérant
1 flacon à col étroit
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB



ET 605 Modèle d'installation de climatisation et des solutions d'automatisation

Une installation de climatisation modèle proche de la pratique avec l'ensemble des éléments et des fonctions

Les bases du génie climatique peuvent se transmettre de manière idéale sur le modèle ET 605. L'installation de climatisation se compose d'un conduit d'air avec une face avant transparente, et d'une chambre de refroidissement avec deux charges de refroidissement différentes. L'ensemble de la structure de l'installation s'oriente d'après des approches didactiques et méthodiques, soutenant ainsi le processus d'apprentissage.

Les principales fonctions de l'installation, à savoir le refroidissement, le chauffage, l'humidification et le transport d'air, sont activées ou désactivées par des interrupteurs. Il est possible d'utiliser l'installation en mode de circulation d'air et en mode air extérieur. L'ensemble des données mesurées pertinentes peut être lu sur des affichages numériques.

Un élargissement essentiel du spectre de l'objectif d'apprentissage est possible par le fait que l'installation puisse être élargie avec différentes approches pour en faire un système entièrement automatisé.

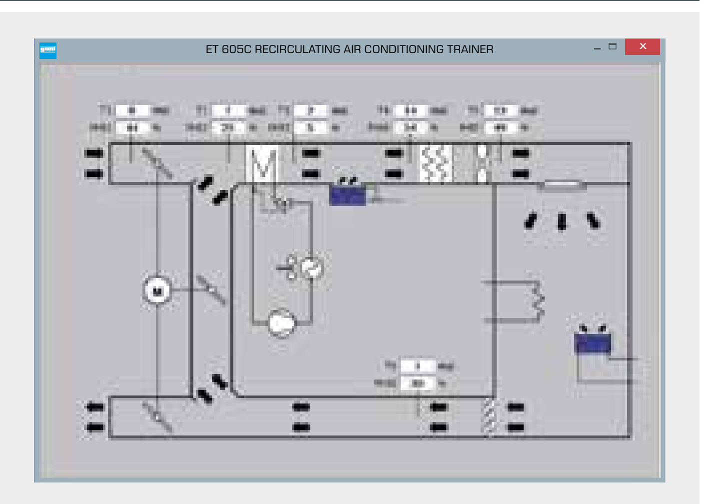


La solution logicielle: claire et polyvalente

ET 605.01 Régulateur logiciel avec acquisition de données

Acquisition de données et visualisation, réglage et utilisation d'une solution logicielle

Cette solution est recommandée si ce sont des critères didactiques et méthodiques qui se trouvent au premier plan. Comparé à un régulateur industriel, le logiciel propose une représentation attrayante et très claire du processus de climatisation.



La solution industrielle

ET 605.02 Régulateur de climatisation

Cette solution d'automatisation est recommandée si l'objectif de la formation consiste dans la connaissance précise d'un régulateur de climatisation courant. Le régulateur, adapté à l'installation ET 605, offre un vaste ensemble de fonctions et un écran graphique. Il commande les composants en fonction de la température et de l'humidité que l'on souhaite obtenir dans la chambre de refroidissement.



Le bon outil pour mettre en œuvre ses propres idées

ET 605.03 Boîte de raccordement E/S

Cette solution est recommandée lorsque le sujet de l'automatisation est primordial, et que des solutions propres doivent être trouvées.
La boîte de raccordement met à disposition tous les signaux d'entrée et de sortie pertinents, ceux-ci pouvant ensuite être traités par l'utilisateur selon ses souhaits et ses idées. On peut par exemple imaginer ici le raccordement d'un régulateur de climatisation industriel quelconque, ou d'un logiciel que l'on écrit soi-même.



ET 605

Modèle d'installation de climatisation



Description

- **chambre de climatisation avec source de chaleur latente et sensible comme charge de refroidissement**
- **mode de circulation d'air et de circulation d'air extérieur**
- **logiciel d'acquisition de données en option (ET 605.01)**
- **possibilités de raccordement pour l'utilisation de différentes solutions d'automatisation**

Le génie climatique est un sujet central en ingénierie de bâtiment. C'est pour cette raison que le génie climatique joue un grand rôle dans la formation des spécialistes et des ingénieurs.

Le banc d'essai ET 605 représente une installation de climatisation complète avec un conduit d'air et une chambre de climatisation. Les composants principaux de l'installation de climatisation sont le refroidisseur d'air avec groupe frigorifique, le ventilateur, l'humidificateur à vapeur et le réchauffeur d'air. Trois volets de ventilation motorisés régulent la répartition de l'air dans l'installation de climatisation. La chambre de climatisation est équipée de deux sources de chaleurs différentes (humide et sèche).

La température et l'humidité relative sont mesurées sur les points pertinents du conduit d'air puis affichées numériquement. Dans le cas du circuit frigorifique, deux manomètres dotés d'une échelle de température et d'un débitmètre fournissent toutes les valeurs de mesure pertinentes.

L'ET 605 est utilisé manuellement. Une caractéristique essentielle de l'installation de climatisation tient au fait qu'elle est entièrement préparée pour différentes solutions d'automatisation. L'utilisateur peut ainsi faire de ce sujet important un sujet de cours. Les solutions suivantes sont à disposition:

- régulateur logiciel ET 605.01
- régulateur de climatisation industriel ET 605.02
- boîte de raccordement de signalisation ET 605.03 pour l'accolage d'une solution utilisateur individuelle.

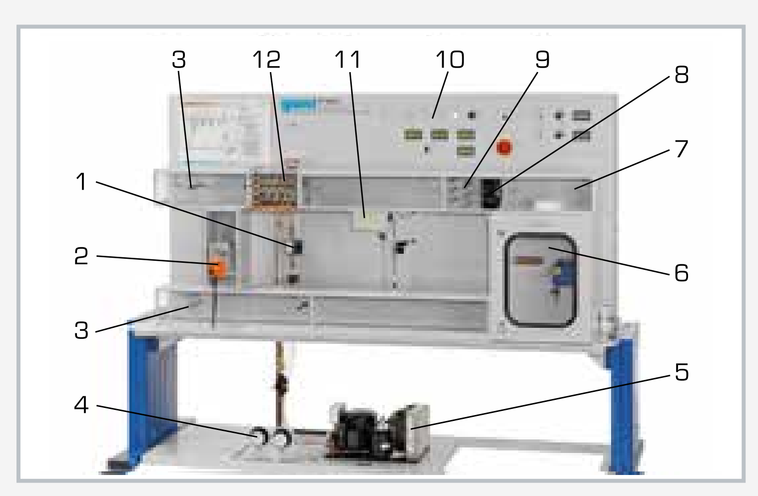
Contenu didactique/essais

- installation de climatisation et ses composants
- conditionnement de l'air ambiant
- mélange de différents écoulements d'air
- représentation de l'air humide sur un diagramme h,x
  - humidifier et déshumidifier
  - chauffer et refroidir
- représentation du circuit frigorifique sur le diagramme log p,h
- effets d'une charge de refroidissement (sèche et humide)
- modes de fonctionnement de circulation d'air et de circulation d'air extérieur

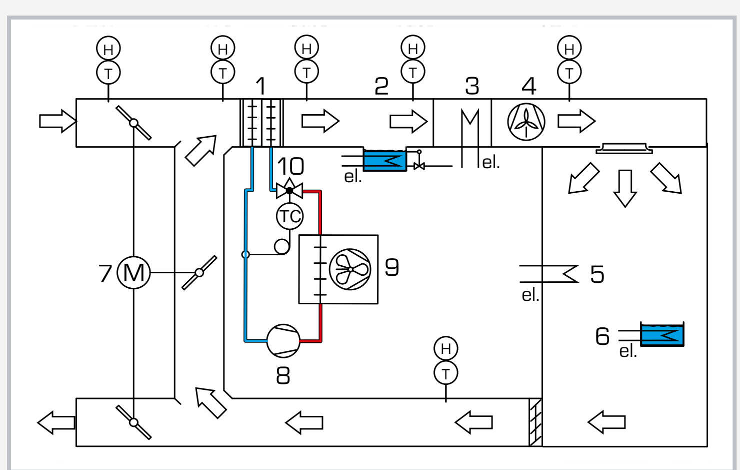
- en combinaison avec les accessoires en option:
  - automatisation d'une installation de climatisation

ET 605

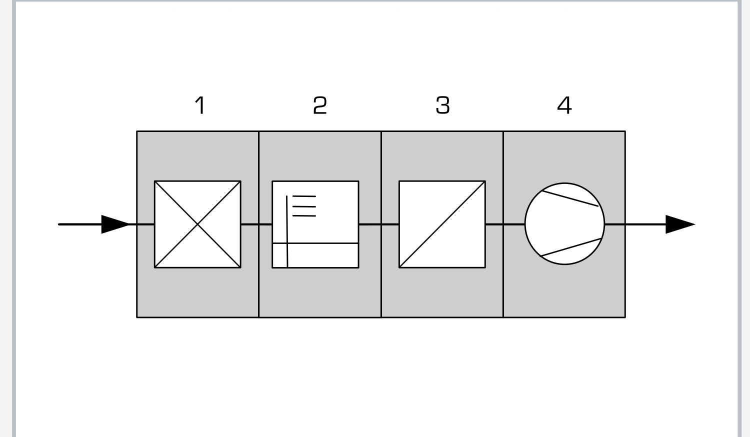
Modèle d'installation de climatisation



1 débitmètre agent réfrigérant, 2 servomoteur, 3 volet de ventilation, 4 manomètre de l'agent réfrigérant, 5 groupe frigorifique, 6 chambre de climatisation avec source de chaleur sensible et latente, 7 conduit d'air pour le capteur de température/d'humidité, 8 ventilateur, 9 réchauffeur d'air, 10 éléments d'affichage et de commande, 11 humidificateur, 12 refroidisseur d'air



1 refroidisseur d'air, 2 humidificateur, 3 réchauffeur d'air, 4 ventilateur, 5 source de chaleur sensible, 6 source de chaleur latente, 7 servomoteur pour volets de ventilation, 8 compresseur, 9 condenseur, 10 soupape de détente; T température, H humidité



Structure schématique de l'installation de climatisation selon DIN 1946
1 refroidisseur d'air, 2 humidificateur d'air, 3 réchauffeur d'air, 4 ventilateur

Spécification

[1] modèle d'une installation de climatisation avec modes de circulation d'air extérieur et de circulation d'air
[2] conduit d'air à front transparent
[3] conduit d'air avec ventilateur, refroidisseur d'air, humidificateur, volets, réchauffeur d'air et capteurs
[4] chambre avec source de chaleur humide (latente) et sèche (sensible) comme charge de refroidissement
[5] volets motorisés pour les modes de circulation d'air extérieur et de circulation d'air
[6] schéma de processus avec lampes de signalisation
[7] installation de climatisation préparée pour différentes solutions d'automatisation: 4 câbles de données de raccords pour l'accolage des accessoires
[8] agent réfrigérant R134a, sans CFC

Caractéristiques techniques

Groupe frigorifique refroidi par air
- puissance absorbée: 140W à -10°C
- puissance frigorifique: 320W à +5/40°C

Humidificateur
- puissance de chauffe: 400W

Réchauffeur d'air
- puissance de chauffe: 360W

2 dispositifs de chauffage dans la chambre en guise de charge de refroidissement
- puissance: chacun 0...250W, ajustable en continu

Section d'écoulement du conduit d'air
- lxh: 155x155mm

Plages de mesure
- température: 0...50°C
- humidité rel.: 10...90%
- puissance absorbée: 0...600W (groupe frigorifique)
- puissance: 2x 0...300W (charge de refroidissement)
- pression: -1...9bar / -1...24bar (agent réfrigérant)
- débit: 1,5...23,5L/h (agent réfrigérant)
- vitesse de l'air: 0...2,5m/s

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2210x800x1740mm
Poids: env. 280kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

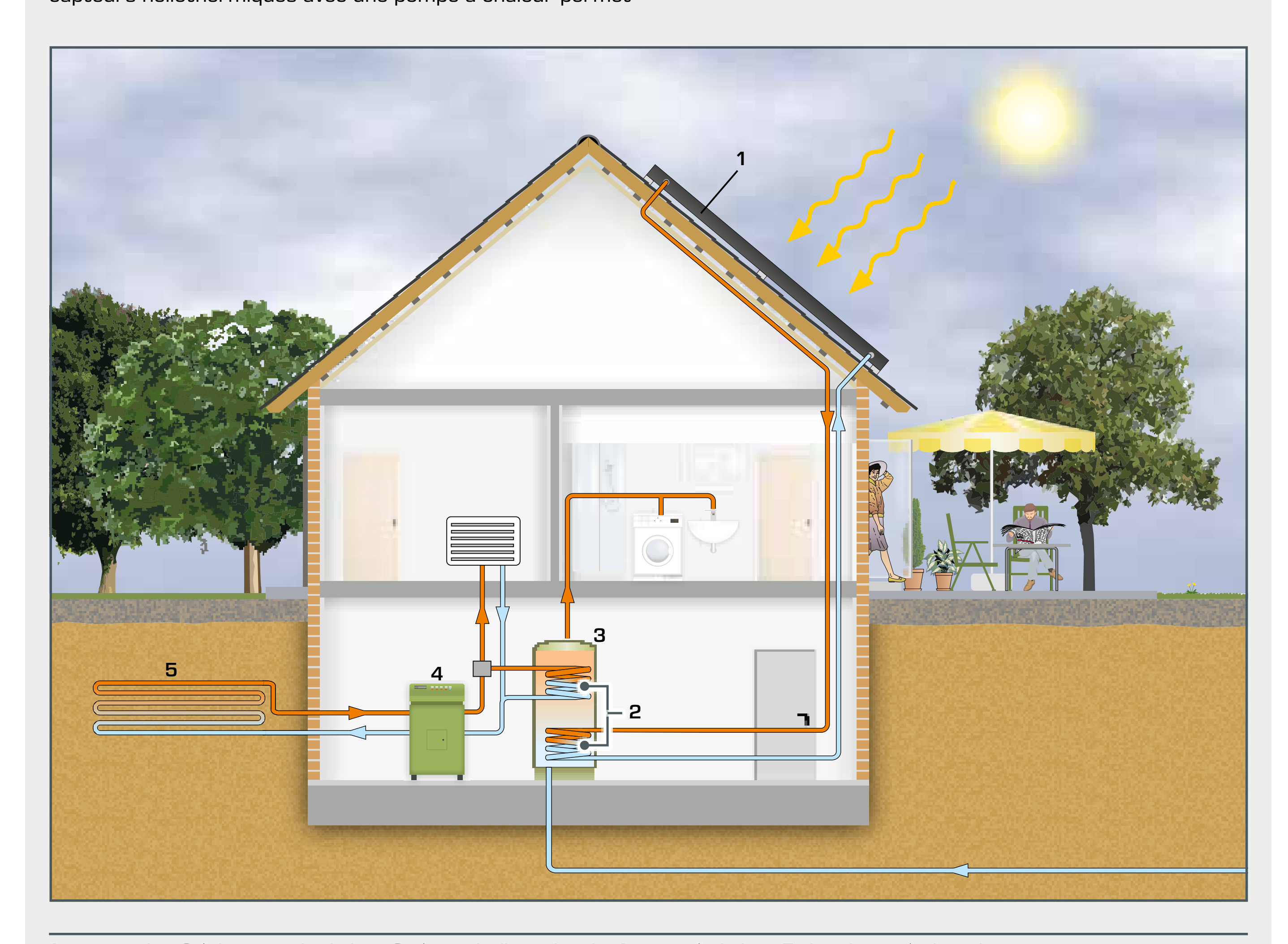
1 banc d'essai, rempli d'agent réfrigérant
1 documentation didactique

GUNT-RHLine Renewable Heat
Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur

Le système modulaire HL 320 permet l'étude de systèmes de chauffage avec différentes sources d'énergie renouvelables et conventionnelles. L'héliothermie peut être associée à la production de chaleur au moyen de pompes à chaleur. Le concept modulaire du système HL 320 rend possible la réalisation de différentes combinaisons et configurations.

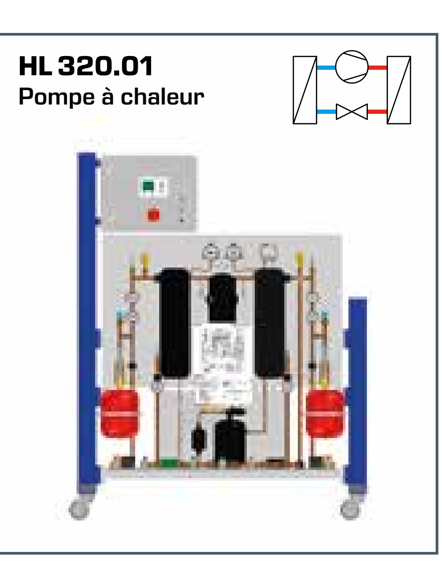
Exploitation combinée de sources de chaleur renouvelables

Dans les bâtiments modernes bénéficiant d'une bonne isolation thermique, il est souvent judicieux de renoncer aux installations de chauffage traditionnelles. La combinaison de capteurs héliothermiques avec une pompe à chaleur permet très souvent aujourd'hui de réaliser des économies substantielles, et d'avoir une alimentation en énergie fiable tout au long de l'année.



1 capteur plan, **2** échangeur de chaleur, **3** réservoir d'eau chaude, **4** pompe à chaleur, **5** absorbeur géothermique;
liquide caloporteur chaud,
liquide caloporteur froid,
agent réfrigérant, haute pression,
agent réfrigérant, basse pression

HL 320.01
Pompe à chaleur



HL 320.02
Chauffage conventionnel



HL 320.03
Capteur plan



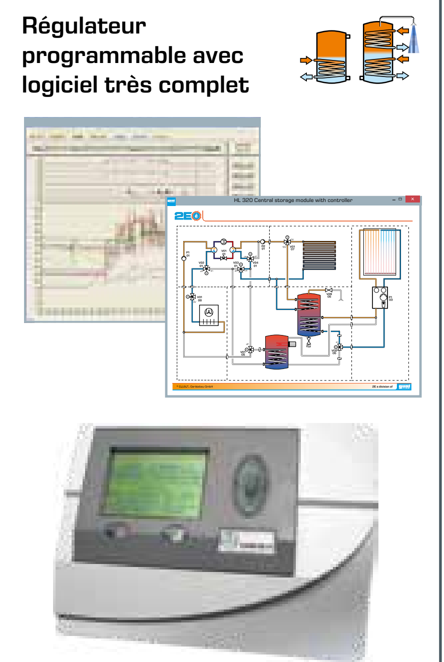
HL 320.04
Capteur à tubes sous vide

HL 320.05
Module de réservoir central avec régulateur



Le module de stockage est composé d'un réservoir bivalent et d'un réservoir tampon. Le régulateur permet d'enregistrer, même sur des périodes longues, les valeurs de mesure requises pour l'analyse du comportement du système.

Régulateur programmable avec logiciel très complet



HL 320.07
Chauffage au sol/absorbeur géothermique



HL 320.08
Ventilateur de chauffage/échangeur de chaleur air

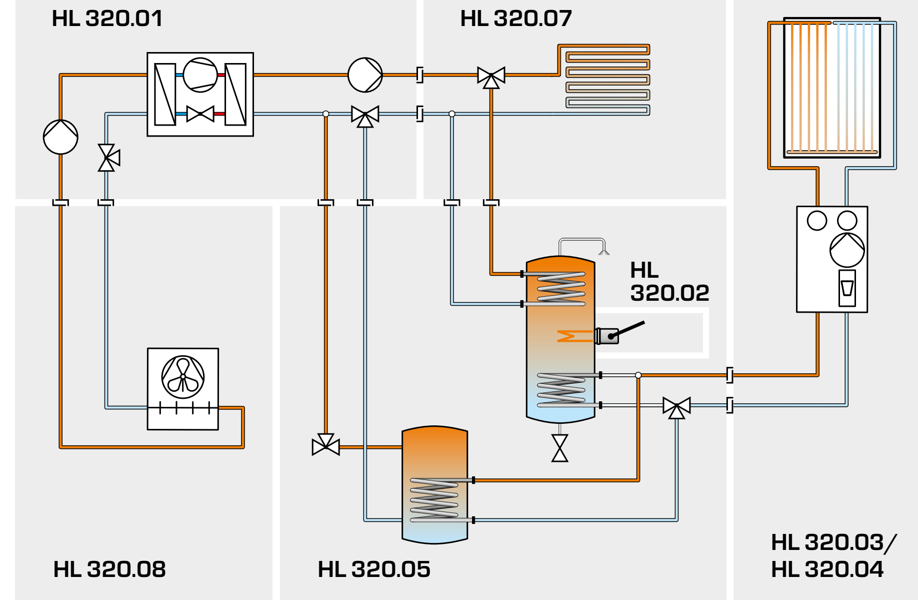


Les modules HL 320.07 et HL 320.08 peuvent être utilisés comme source de chaleur ou comme dissipateur thermique.

GUNT-RHLine Renewable Heat
Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur

Configuration adaptée à chaque application

Dans la pratique, la compilation des composants requis et l'optimisation du plan de tuyauterie et des réglages du régulateur dépendent des conditions locales. GUNT a développé une série d'essais pour différentes combinaisons modulaires, permettant d'enseigner pas à pas les contenus didactiques correspondants. Des configurations propres à l'utilisateur sont bien entendu réalisables, afin de pouvoir étudier d'autres questions liées au “génie thermique régénératif”.



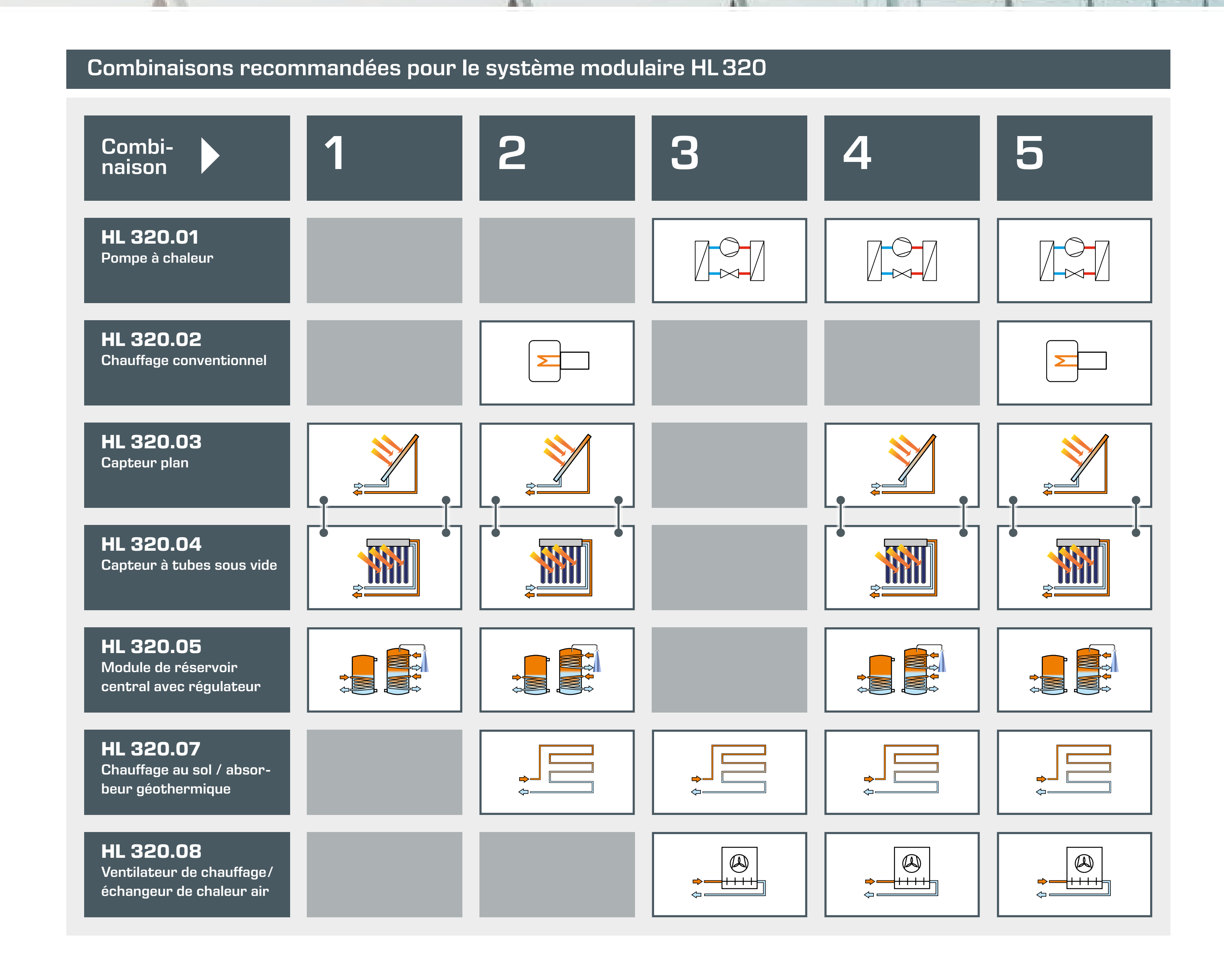
- liquide caloporteur chaud,
- liquide caloporteur froid,
- agent réfrigérant, haute pression,
- agent réfrigérant, basse pression

Exemple de schéma d'installation pour l'assistance de chauffage et le chauffage de l'eau sanitaire avec un capteur héliothermique et une pompe à chaleur (combinaison 5)



HL 320.08 | HL 320.01 | HL 320.07 | HL 320.05 | HL 320.04

Combinaisons recommandées pour le système modulaire HL 320



Combinaison	1	2	3	4	5
HL 320.01 Pompe à chaleur			●	●	●
HL 320.02 Chauffage conventionnel		●			●
HL 320.03 Capteur plan	●	●		●	●
HL 320.04 Capteur à tubes sous vide	●	●		●	●
HL 320.05 Module de réservoir central avec régulateur	●	●		●	●
HL 320.07 Chauffage au sol / absorbeur géothermique		●	●	●	●
HL 320.08 Ventilateur de chauffage/ échangeur de chaleur air			●	●	●

Contenus didactiques et essais

Combinaison 1

- fonctionnement d'une installation de chauffage héliothermique
- mise en service
- rendement du capteur solaire et pertes

Combinaison 2

- exploitation combinée de l'énergie conventionnelle et de l'énergie héliothermique
- chauffage efficace des pièces avec chauffage au sol

Combinaison 3

- fonctionnement et construction d'une pompe à chaleur
- paramétrage d'un régulateur de pompe à chaleur
- grandeurs du COP (Coefficient of Performance)

Combinaison 4

- utilisation efficace de l'énergie héliothermique et de l'énergie géothermique
- stratégies d'alimentation en chaleur pour différents profils de consommation

Combinaison 5

- exploitation de sources renouvelables et de sources fossiles pour le chauffage et l'eau chaude
- fonctionnement de la pompe à chaleur en modes bivalent parallèle et bivalent alternatif

GUNT-RHLine Renewable Heat
Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur

HL 320.01 Pompe à chaleur

Régulateur universel programmable avec enregistreur de données

Compresseur scroll à vitesse de rotation variable

Évaporateur

Condenseur

Afin de pouvoir établir le bilan des flux énergétiques, des capteurs de température et de débit ont été installés sur toutes les positions requises. Les données d'autres modules HL 320 peuvent être transférées, via une connexion bus CAN, au régulateur de chauffage configurable du module de pompe à chaleur.

La pompe à chaleur HL 320.01 fait partie du système modulaire HL 320; elle permet de réaliser différentes combinaisons de la géothermie et de l'héliothermie dans un système de chauffage moderne. La pompe à chaleur est entraînée par un compresseur scroll à vitesse de rotation variable. Cela permet d'adapter la puissance de chauffe de la pompe à chaleur aux besoins actuels de l'installation de chauffage.

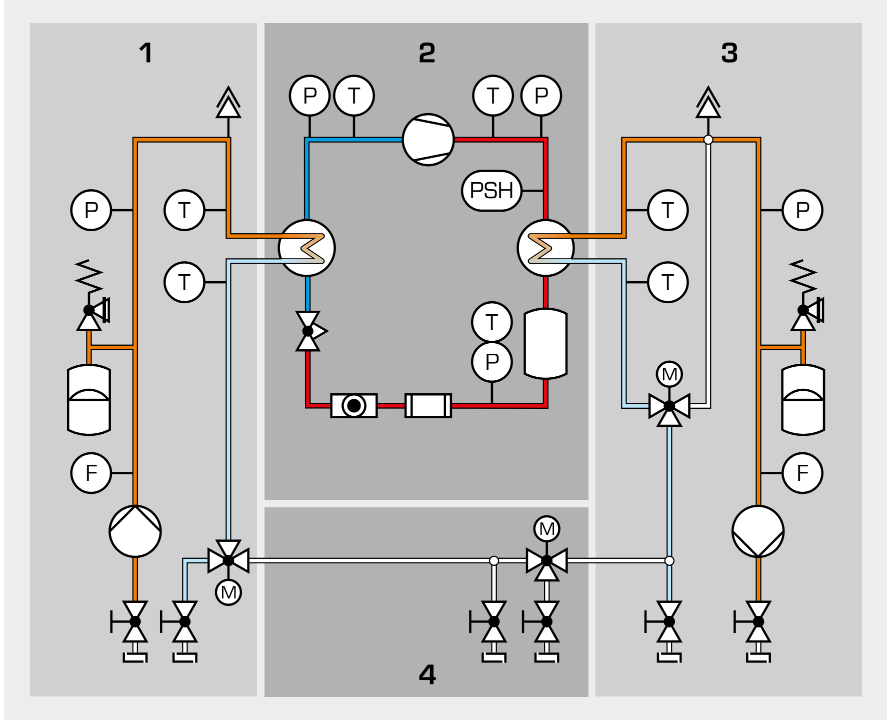


Schéma de processus du module HL 320.01 Pompe à chaleur

1 raccords du circuit source, **2** circuit frigorifique, **3** raccords du circuit de chauffage, **4** possibilités supplémentaires d'intégration de modules HL 320
- liquide caloporteur chaud,
- liquide caloporteur froid,
- agent réfrigérant, haute pression,
- agent réfrigérant, basse pression

Spirales fixes et mobiles d'un compresseur scroll

La combinaison 3 du système HL 320 réunit les modules suivants au sein d'un système:

- **HL 320.01** Pompe à chaleur
- **HL 320.07** Chauffage au sol/absorbeur géothermique
- **HL 320.08** Ventilateur de chauffage/échangeur de chaleur à air

Cette combinaison permet la réalisation d'essais fondamentaux sur le comportement en service de la pompe à chaleur. Des essais d'approfondissement sont possibles en intégrant, par exemple, un module de stockage (HL 320.05) et un capteur solaire thermique.

Contenu didactique

- fonctionnement et construction d'une pompe à chaleur
- distinction entre différents états de fonctionnement
- grandeurs influençant le COP (Coefficient of Performance)
- paramétrage d'un régulateur de pompe à chaleur

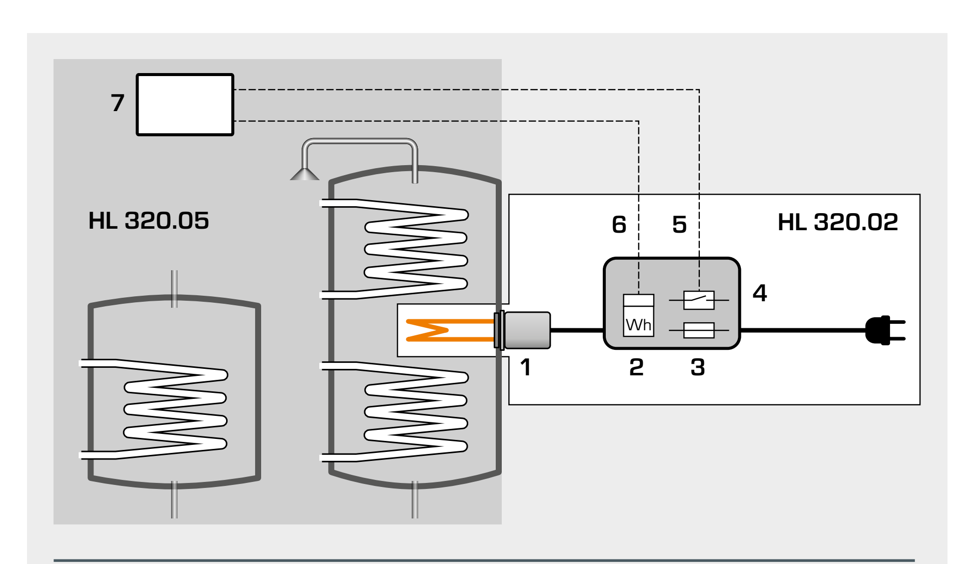


GUNT-RHLine Renewable Heat
Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur

HL 320.02 Chauffage conventionnel

Dans les installations de chauffage exploitant plusieurs sources de chaleur régénératives, il peut être financièrement avantageux de couvrir les pics de charge avec un dispositif de chauffage traditionnel. Pour pouvoir étudier cet aspect dans le système modulaire HL 320, le module HL 320.02 offre un dispositif de chauffage supplémentaire qui peut être intégré facilement à différentes configurations de l'installation.

Au cours des essais, il est facile de faire fonctionner ce dispositif de chauffage, étant donné qu'il intègre un thermoplongeur électrique. Ce thermoplongeur est introduit dans le réservoir du module de stockage HL 320.05, et peut être commandé par bus CAN à partir du régulateur du module de stockage. Un compteur intégré mesure le courant consommé. Les données du compteur peuvent être transmises par le bus CAN au régulateur du module de stockage HL 320.05, afin d'être sauvegardées par l'enregistreur de données.



1 thermoplongeur, **2** compteur d'énergie, **3** fusible, **4** coffret de commande,
5 connexion entre le contacteur de puissance et la sortie du régulateur,
6 connexion entre le compteur d'énergie et l'entrée du régulateur,
7 régulateur du module HL 320.05



Pour préparer l'essai, on vide le réservoir de stockage. Le dispositif de chauffage supplémentaire s'installe ensuite en un tour de main.

Contenu didactique

- chauffage d'appoint et/ou chauffage d'eau sanitaire par chauffage supplémentaire conventionnel
- point de bivalence et charge de chauffe
- stratégies de régulation pour assister le chauffage

HL 320.03 Capteur plan

Le capteur plan HL 320.03, associé à d'autres modules du HL 320, permet de réaliser différents essais sur le chauffage héliothermique de l'eau sanitaire. La technique de régulation pour le chauffage combiné de l'eau sanitaire et celui des pièces est en lien étroit avec la pratique. La régulation et l'acquisition de données sont assurées par un bus CAN via le module de stockage HL 320.05.

La connexion des modules au moyen de flexibles et d'accouplements rapides est très facile à réaliser. Conjointement avec d'autres modules du système HL 320, il est possible de tester et d'optimiser différentes combinaisons pour les sources de chaleur régénératives.





Contenu didactique

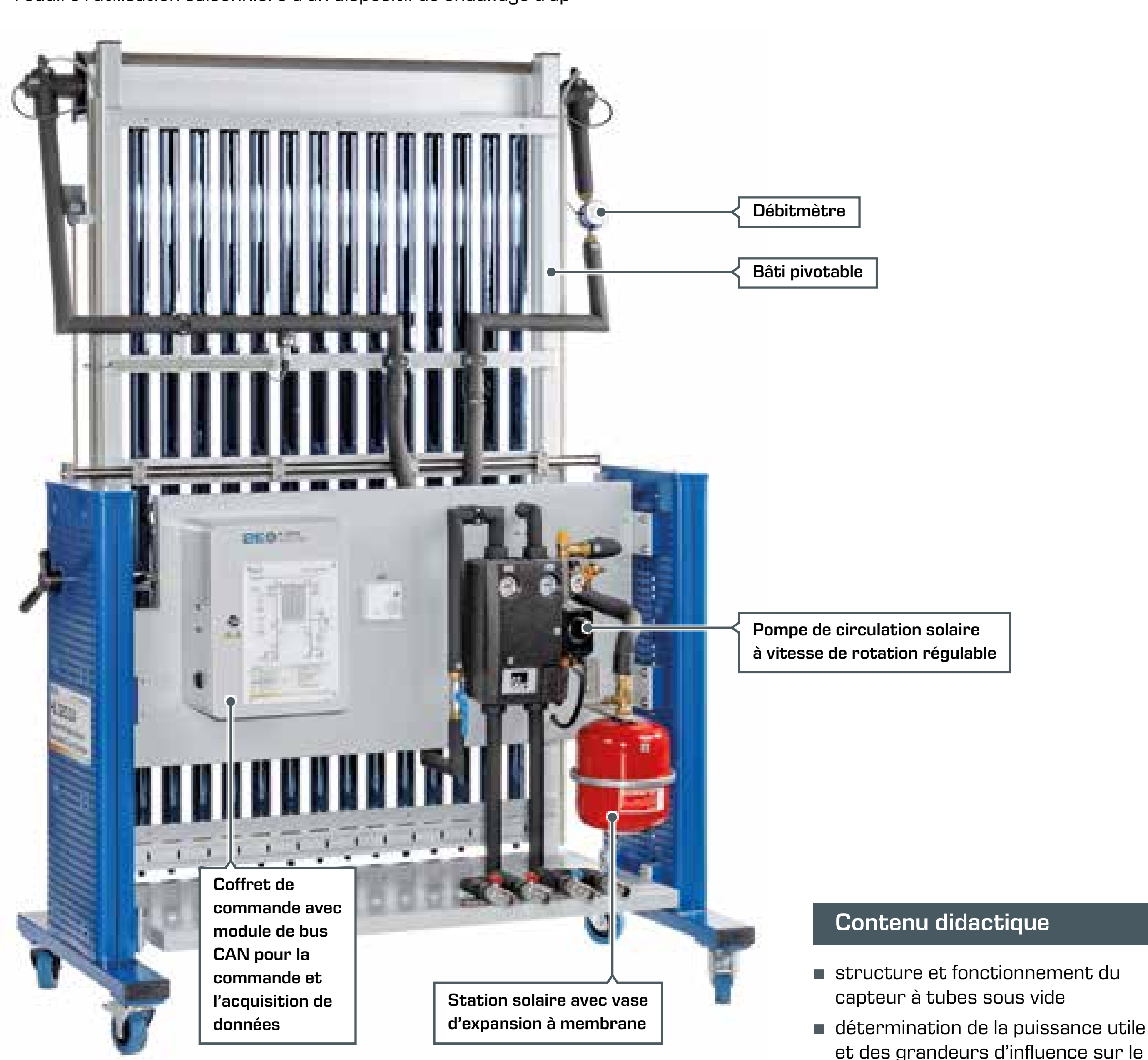
- détermination de la puissance utile
- influence de la température, de l'intensité lumineuse et de l'angle d'inclinaison sur le rendement du capteur
- intégration d'un capteur plan à un système de chauffage moderne
- conditions de fonctionnement hydrauliques et relatives aux techniques de régulation
- bilans énergétiques
- optimisation des conditions de fonctionnement pour différents types d'exploitation



GUNT-RHLine Renewable Heat
Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur

HL 320.04 Capteur à tubes sous vide

Le HL 320.04 est composé d'un capteur à tubes sous vide de conception moderne. Étant donné leurs faibles pertes de chaleur, les capteurs à tubes sous vide atteignent des températures de travail beaucoup plus élevées que les simples capteurs solaires plan. Dans la pratique, les capteurs à tubes sous vide sont utilisés par exemple lorsque la place disponible pour les installer est limitée. Lorsqu'ils sont utilisés pour le chauffage tout au long de l'année, les capteurs à tubes sous vide permettent de réduire l'utilisation saisonnière d'un dispositif de chauffage d'appoint conventionnel. Le HL 320.04 est un module du système modulaire HL 320 héliothermie et pompe à chaleur. Le module d'essai peut être intégré de diverses manières au système modulaire. Il peut être utilisé aussi bien pour le chauffage de l'eau sanitaire que pour la production combinée d'eau sanitaire et de chaleur de chauffage. Les raccordements des conduites du fluide caloporteur peuvent être établis et modifiés rapidement avec des accouplements rapides.



Contenu didactique

- structure et fonctionnement du capteur à tubes sous vide
- détermination de la puissance utile et des grandeurs d'influence sur le rendement du capteur
- intégration d'un capteur à tubes sous vide à un système de chauffage moderne

HL 320.05 Module de réservoir central avec régulateur

Le module de stockage HL 320.05 constitue, pour la réalisation de vos essais un élément central du système modulaire HL 320. Le HL 320.05 comprend deux accumulateurs de chaleur différents, des tuyauteries, une pompe, deux soupapes à trois voies motorisées et des dispositifs de sécurité. Les accouplements rapides situés sur la face avant du module permettent le raccordement hydraulique à d'autres modules du système modulaire. En outre, le HL 320.05 comprend un régulateur de chauffage programmable qui peut être relié à chacun des modules intégrés via des liaisons de commande ou de données (bus CAN). Ce régulateur permet de faire fonctionner et d'étudier toutes les combinaisons de modules prévues.



Contenu didactique

- fondements et mise en service d'installations de chauffage avec héliothermie et pompe à chaleur
- propriétés de différents accumulateurs de chaleur
- conditions de fonctionnement électriques, hydrauliques et de régulation
- bilans énergétiques pour différentes configurations d'installation
- optimisation des stratégies de régulation pour différents modes de fonctionnement



GUNT-RHLine Renewable Heat
Système modulaire héliothermie et pompe à chaleur

HL 320.07 Chauffage au sol / absorbeur géothermique

Les chauffages au sol transmettent la chaleur par l'intermédiaire de systèmes de conduites en spirales, ou en méandres, situées en dessous du revêtement du sol. Les températures d'entrée requises pour le fonctionnement des chauffages au sol sont nettement inférieures à celles requises, p.ex., pour les radiateurs conventionnels. Dans le système modulaire HL 320, le HL 320.07 peut être utilisé, en plus de sa fonction de dissipateur de chaleur pour chauffage au sol, comme source de chaleur pour une pompe à chaleur. Dans ce cas, la direction du transport de chaleur est inversée. Le HL 320.07 est équipé de trois systèmes de conduites sélectionnables individuellement et de longueurs différentes. Les conduites sont entourées d'un réservoir qui peut être rempli d'eau.

Des capteurs sont installés sur le système de conduites; ils enregistrent les températures au niveau du circuit entrant et du circuit retour. Il est possible de calculer les quantités de chaleur et les bilans énergétiques avec les données mesurées par le débitmètre intégré. Les données sont transmises par une connexion bus CAN au régulateur du module principal concerné (HL 320.01 ou HL 320.05). La connexion bus CAN permet également de commander la vanne mélangeuse à trois voies intégrée du régulateur.

Débitmètre

Distributeur de chauffage

Coffret de commande avec module de bus CAN pour la commande et l'acquisition de données

Vanne mélangeuse à trois voies

Réservoir avec une conduite en spirale (chauffage au sol)

Contenu didactique

- bilan énergétique dans des systèmes de chauffage combinés pour chauffer l'eau sanitaire et des pièces
- transmission de la chaleur à l'intérieur d'un chauffage au sol
- exploitation de sources de chaleur pour systèmes de pompes à chaleur

HL 320.08 Ventilateur de chauffage / échangeur de chaleur à air

Pour le chauffage des pièces, les ventilateurs de chauffage offrent la possibilité, par rapport aux radiateurs classiques, d'obtenir un transfert de chaleur dans l'air ambiant comparativement meilleur et ce, même avec des dimensions réduites. Conjointement avec une pompe à chaleur, le ventilateur de chauffage représente une solution avantageuse d'un point de vue énergétique et financier, en particulier au moment de rénover les installations de chauffage de bâtiments anciens.

Ce module peut être aussi utilisé comme dissipateur thermique, ou comme source de chaleur pour une pompe à chaleur. De même, des capteurs de température et de débit sont disponibles pour établir des bilans énergétiques. Les données sont transmises par une connexion bus CAN au régulateur du module principal concerné (HL 320.01 ou HL 320.05).



Contenu didactique

- influence de la différence de température entre l'entrée et le retour du circuit de chauffage sur l'efficacité totale d'une installation de chauffage
- conditions de fonctionnement en cas d'utilisation de l'échangeur de chaleur à air dans un système de pompe à chaleur
- comparaison d'un échangeur de chaleur à air avec d'autres sources de chaleur d'un système de pompe à chaleur

HL 320.01
Pompe à chaleur



Description

- **banc d'essai provenant du système modulaire HL 320**
- **pompe pour le fonctionnement avec différentes sources**
- **plusieurs variantes d'installations sont possibles en combinaison avec les autres modules HL 320**

Le système modulaire HL 320 permet la réalisation d'essais pour la production, le stockage et l'exploitation de la chaleur issue des énergies renouvelables.
HL 320.01 est un module de ce système et comprend une pompe à chaleur, qui peut être reliée à différents sources et consommateurs de chaleur.

La pompe à chaleur se compose d'un compresseur, d'un condenseur, d'une soupape de détente et d'un évaporateur. Ces composants sont reliés entre eux par un circuit frigorifique. L'agent réfrigérant, entraîné par le compresseur, circule dans le circuit frigorifique. L'énergie thermique d'une source est absorbée au niveau de l'évaporateur. De l'énergie supplémentaire est ajoutée à l'agent réfrigérant évaporé dans le compresseur. Cette énergie peut être rendue sous forme de chaleur à un consommateur dans le condenseur.

Sur le banc d'essai HL 320.01, le condenseur peut être rattaché à différents consommateurs dans un circuit de chauffage. L'évaporateur peut être relié à différentes sources de chaleur dans un circuit de source. Pour chacun de ces raccordements, la tuyauterie correspondante avec accouplement rapide, pompes de circulation et accessoires nécessaires est disponible.

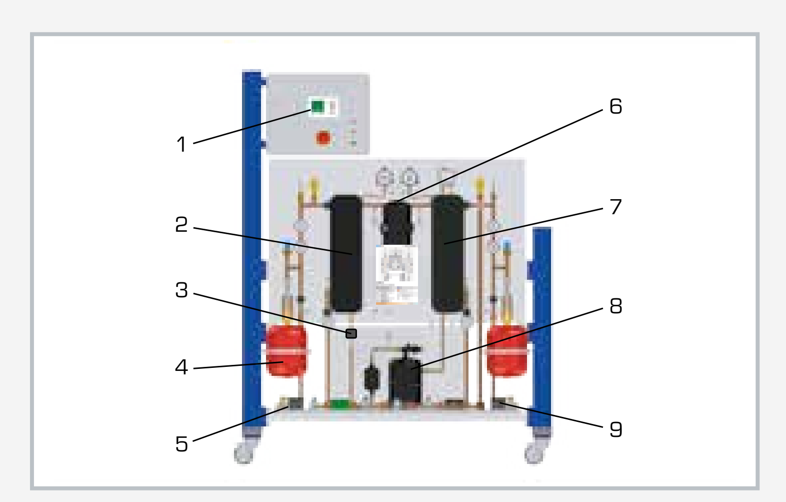
Selon le cas d'utilisation, il est régulièrement nécessaire d'utiliser, dans la pratique, des configurations différentes d'installations pour une efficacité optimale de l'installation de chauffage. Grâce au HL 320.01 et à d'autres modules HL 320, les variantes possibles d'intégration d'une pompe à chaleur dans une installation moderne de chauffage peuvent être étudiées de manière systématique.

Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules recommandées avec le module HL 320.01 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

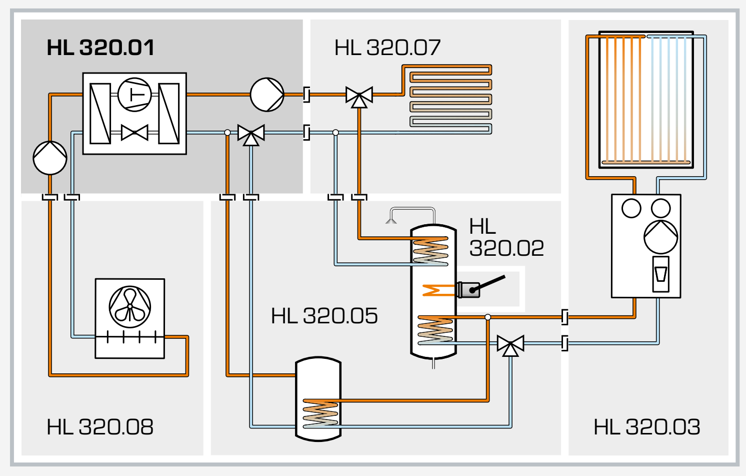
Contenu didactique/essais

- introduction aux applications des pompes à chaleur pour chauffage domestique et préparation d'eau chaude
- utilisation de la pompe à chaleur pour le refroidissement
- avantages et inconvénients de différentes configurations d'installations (pompe à chaleur à eau glycolée, pompe à chaleur à air)
- réglage et adaptation d'un régulateur de pompe à chaleur
- comportement en service en cas d'offres et de besoins de chaleur variables
- dépendance du coefficient de performance à la température des sources et des dissipateurs
- possibilités d'optimisation du coefficient de performance annuel

HL 320.01
Pompe à chaleur



1 régulateur, 2 évaporateur, 3 soupape de détente, 4 vase d'expansion, 5 pompe du circuit source, 6 compresseur scroll, 7 condenseur, 8 réservoir, 9 pompe du circuit de chauffage



Intégration du HL 320.01 dans une configuration possible du système modulaire HL 320

	1	2	3	4	5
HL 320.01			X	X	X
HL 320.02		X			X
HL 320.03	X	X		X	X
HL 320.04	(X)	(X)		(X)	(X)
HL 320.05	X	X		X	X
HL 320.07		X	X	X	X
HL 320.08			X	X	X

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] pompe à chaleur pour le système modulaire HL 320
[2] raccords pour différents sources ou dissipateurs de chaleur
[3] respectivement une pompe de circulation et un groupe de sécurité avec vase d'expansion pour circuit de chauffage et de source
[4] capteur de température, débit et pression avec raccordement au régulateur
[5] régulateur avec enregistreur de données et raccordement LAN pour commande et acquisition de données
[6] logiciel de transmission, représentation et exploitation des données de mesure du régulateur

Caractéristiques techniques

Pompe à chaleur
- puissance thermique: env. 2,3kW à 5/65°C

Pompes des circuits de chauffage et de source
- débit de refoulement max.: $3m^3/h$
- hauteur de refoulement max.: 4m

Régulateur universel
- entrées: jusqu'à 16
- sorties: jusqu'à 16
- interfaces: DL-Bus, CAN, LAN

Plages de mesure
- température:
  - 4x -50...180°C
  - 3x 0...120°C
  - 1x -20...60°C
- débit: 2x $0,02...1,5m^3/h$
- pression:
  - 1x -1...15bar
  - 1x -1...49bar
  - 2x 0...6bar
  - 2x 0...50bar
  - 1x 0...18bar
  - 2x 0...10bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
Lxlxh: 1500x800x1700mm
Poids: env. 125kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 notice



HL 320.02
Chauffage conventionnel



Dispositif de chauffage HL 320.02 monté dans un réservoir bivalent du HL 320.05

Contenu didactique/essais

- chauffage d'appoint et/ou chauffage d'eau sanitaire par chauffage supplémentaire conventionnel
- point de bivalence et charge de chauffe
- stratégies de régulation pour l'appoint de chauffage
- bilans énergétiques dans les systèmes de pompe à chaleur et solaire thermique soutenus conventionnellement

Description

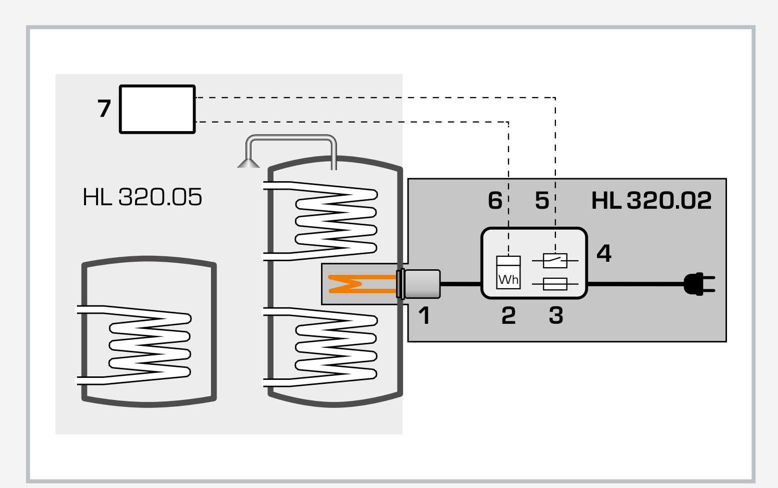
- **chauffage supplémentaire pour le système modulaire HL 320**
- **dispositif de chauffage avec compteur de courant**
- **montage facile dans le réservoir de stockage HL 320.05**

D'un point de vue économique, il peut être intéressant d'utiliser les différentes sources de chaleur régénératives afin de couvrir les besoins de pointe grâce à un chauffage conventionnel. Pour étudier cet aspect du système modulaire HL 320, un chauffage supplémentaire est disponible avec le module HL 320.02, qui peut être facilement intégré dans différentes configurations d'installations.

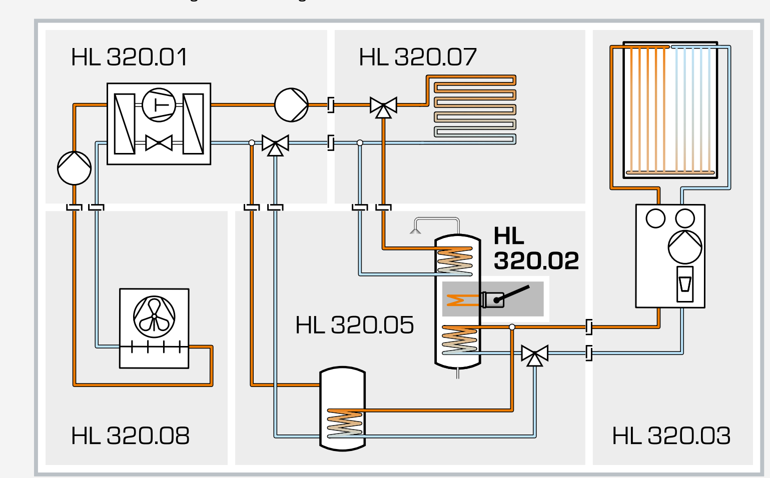
L'effort pratique de fonctionnement de ce chauffage, en cas d'essais réalisés en laboratoire, reste réduit en raison de l'utilisation d'un dispositif de chauffage alimenté électriquement. Le dispositif de chauffage est utilisé dans le réservoir de stockage du module de réservoir central HL 320.05, et peut être commandé par le régulateur du module de réservoir central. Un compteur intégré prend en compte la quantité d'électricité consommée. Les données du compteur peuvent être transmises au régulateur du module de réservoir central HL 320.05 par un câble de données pour l'acquisition par un enregistreur de données.

Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules recommandées avec le module HL 320.02 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

HL 320.02
Chauffage conventionnel



1 dispositif de chauffage, 2 compteur électrique, 3 fusible, 4 coffret de distribution, 5 connexion entre contacteur et sortie du régulateur, 6 connexion entre compteur d'électricité et entrée de régulateur, 7 régulateur de module HL 320.05



Intégration du HL 320.02 dans une configuration possible du système modulaire HL 320

	1	2	3	4	5
HL 320.01			X	X	X
HL 320.02		X			X
HL 320.03	X	X		X	X
HL 320.04	(x)	(x)		(x)	(x)
HL 320.05	X	X		X	X
HL 320.07		X	X	X	X
HL 320.08			X	X	X

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] dispositif de chauffage électrique pour le système modulaire HL 320
[2] commande par régulateur du module HL 320.05
[3] coffret de distribution avec contacteur de puissance, disjoncteur miniature et compteur de courant
[4] acquisition de la quantité d'électricité consommée par liaison S0 vers le régulateur du module HL 320.05

Caractéristiques techniques

Dispositif de chauffage
- puissance électrique: 3kW
- thermostat: 30...110°C

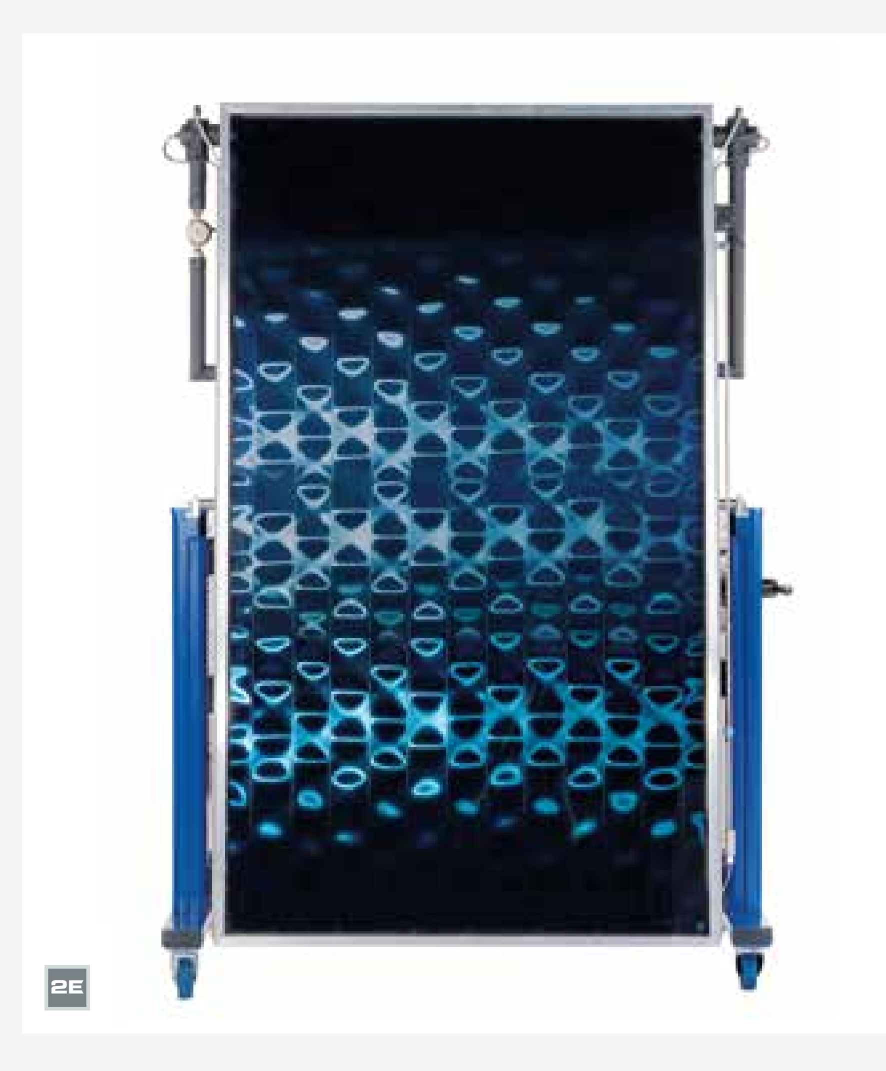
Compteur de courant
- tension: 230VAC, 50Hz
- courant max.: 32A
- sortie S0: 1000 imp./kWh

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
Dxh: 115x370mm (dispositif de chauffage)
Poids: env. 2kg
Lxlxh: 300x250x200mm (coffret de commande)
Poids: env. 1,5kg

Liste de livraison

1 dispositif de chauffage
1 coffret de commande
1 notice

HL 320.03
Capteur plan



Contenu didactique/essais

- structure et fonction du capteur plan
- détermination de la puissance utile
- influence de la température, de l'intensité lumineuse et de l'angle d'inclinaison sur le rendement du capteur
- intégration d'un capteur plan à un système de chauffage moderne
- conditions de fonctionnement hydrauliques et relatives aux techniques de régulation
- bilans énergétiques
- optimisation des conditions de fonctionnement pour différents types d'exploitation

Description

- **capteur plan pivotable pour la transformation d'énergie solaire en chaleur**
- **source de chaleur avec raccordements au système modulaire HL 320**
- **composants pour le fonctionnement et la sécurité de l'installation empruntés à la pratique du génie thermique moderne**
- **adapté à la lumière du soleil et à la lumière artificielle**

HL 320.03 est un module du système modulaire HL 320 et permet de convertir l'énergie solaire en chaleur avec un capteur plan de conception moderne.

HL 320.03 peut être rattaché de différentes manières au système modulaire HL 320. L'exploitation est possible aussi bien pour la production d'eau sanitaire chauffée, que pour la production combinée d'eau sanitaire et de chaleur de chauffage.

Le raccordement des modules se fait rapidement et facilement au moyen de tuyaux et d'accouplements rapides.

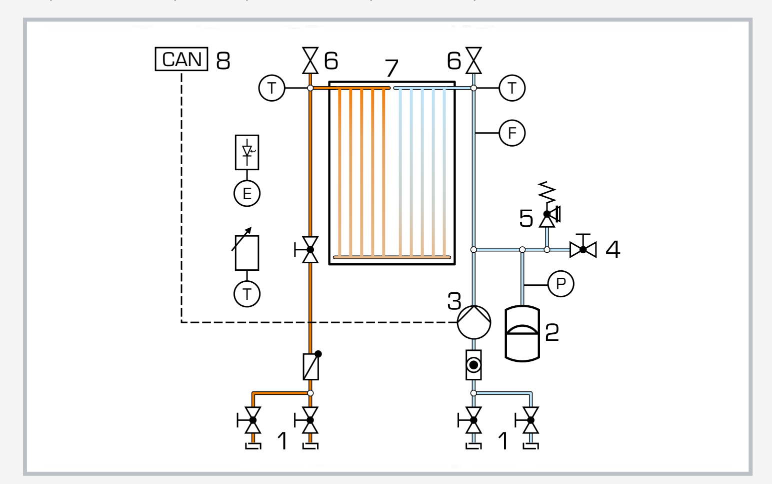
En associant d'autres modules du système HL 320, il est possible de tester et optimiser différentes associations possibles pour les sources de chaleur régénératives.

Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules prévues avec le module HL 320.03 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

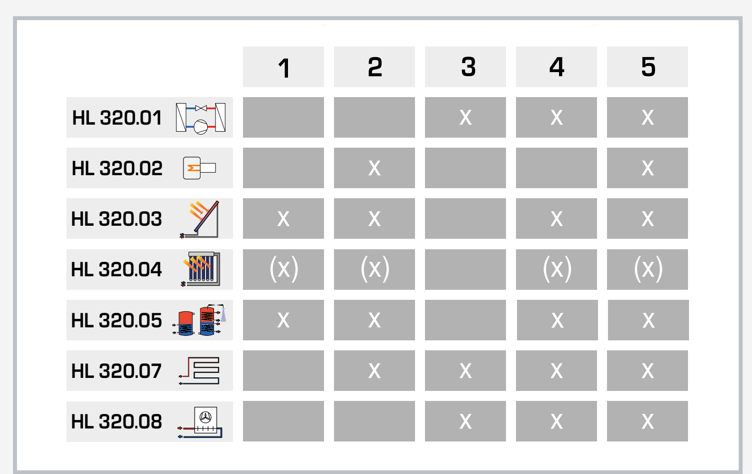
HL 320.03
Capteur plan



1 vannes de ventilation, 2 capteurs de lumière, 3 capteur de débit, 4 sortie de collecteur thermomètre, 5 vanne d'arrêt, 6 connecteurs pour l'eau chaude, 7 connecteurs pour l'eau froide, 8 vase d'expansion à membrane, 9 pompe de circulation, 10 soupape de décharge de pression, 11 capteur de pression, 12 capteur de température



1 raccordements pour conduites de fluide caloporteur avec soupapes d'arrêt et accouplement rapide, 2 vase d'expansion à membrane, 3 pompe, 4 vanne de remplissage, 5 soupape de surpression, 6 purges d'air, 7 capteur plan, 8 bus de données CAN;
E éclairement, F débit, T température, P pression



	1	2	3	4	5
HL 320.01			X	X	X
HL 320.02		X			X
HL 320.03	X	X		X	X
HL 320.04	(X)	(X)		(X)	(X)
HL 320.05	X	X		X	X
HL 320.07		X	X	X	X
HL 320.08			X	X	X

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] banc d'essai pour le système modulaire HL 320 pour l'étude de la fonction et du comportement en service d'un capteur plan
[2] capteur plan héliothermique avec revêtement à absorption sélective
[3] angle d'inclinaison du capteur réglable
[4] station solaire circulaire avec pompe, vase d'expansion et soupape de sécurité
[5] technique de mesure et de régulation avec HL 320.05
[6] fonctionnement avec rayonnement solaire ou source de lumière artificielle HL 313.01

Caractéristiques techniques

Capteur
- surface de l'absorbeur: 2,5m^2
- débit nominal: 40...150L/h
- pression de service: 1...3bar

Station solaire circulaire
- pompe solaire: 3 niveaux
- soupape de sécurité: 4bar
- valve de compensation: 1...13L/min

Plages de mesure
- température:
  - 2x 0...160°C
  - 3x -50°C...180°C
- débit: 30...1000L/h
- pression: 0...6bar

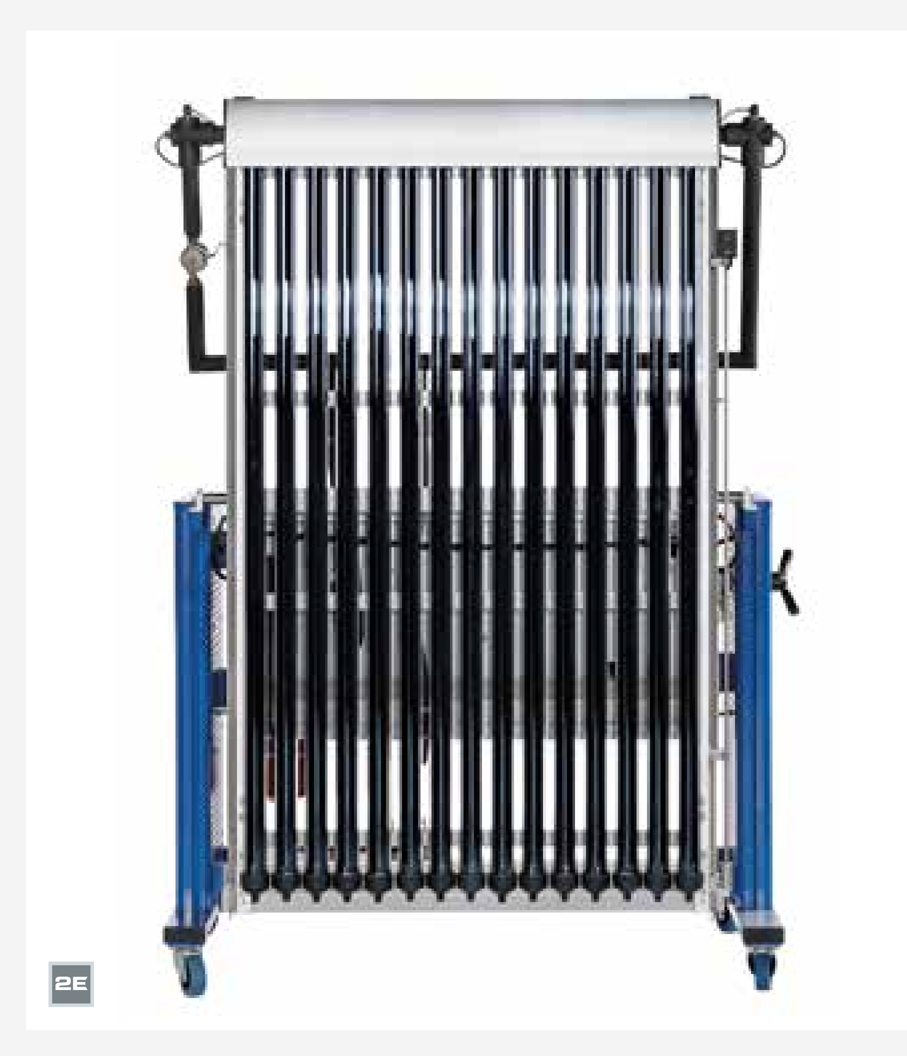
230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
Lxlxh: 1660x800x2300mm
Poids: env. 220kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 notice

HL 320.04

Capteur à tubes sous vide



Contenu didactique/essais

- structure et fonction du capteur à tubes sous vide
- détermination de la puissance utile
- grandeurs d'influence sur le rendement du capteur
- intégration d'un capteur à tubes sous vide à un système de chauffage moderne
- conditions de fonctionnement hydrauliques et relatives aux techniques de régulation
- bilans énergétiques
- optimisation des conditions de fonctionnement pour différents types d'exploitation

Description

- **transformation d'énergie solaire en chaleur dans le capteur à tubes sous vide**
- **capteur pivotable avec raccords pour le système modulaire HL 320**
- **composants pour le fonctionnement et la sécurité de l'installation empruntés à la pratique du génie thermique moderne**
- **adapté à la lumière du soleil et à la lumière artificielle**

Le banc d'essai HL 320.04 comprend un capteur à tubes sous vide et permet la conversion d'énergie solaire en chaleur. En raison des faibles pertes thermiques, les capteurs à tubes sous vide atteignent des températures de travail beaucoup plus élevées que les capteurs plan.

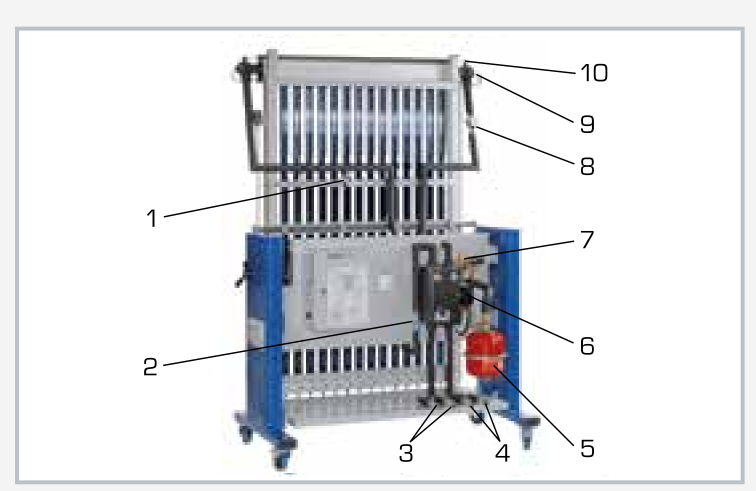
HL 320.04 est un module du système modulaire HL 320 solaire thermique et pompe à chaleur. Le banc d'essai peut être rattaché au système modulaire de diverses manières. L'exploitation est possible aussi bien pour la production d'eau sanitaire chauffée, que pour la production combinée d'eau sanitaire et de chaleur de chauffage.

Les raccordements des conduites du fluide caloporteur s'effectuent et peuvent être modifiés rapidement grâce aux accouplements rapides.

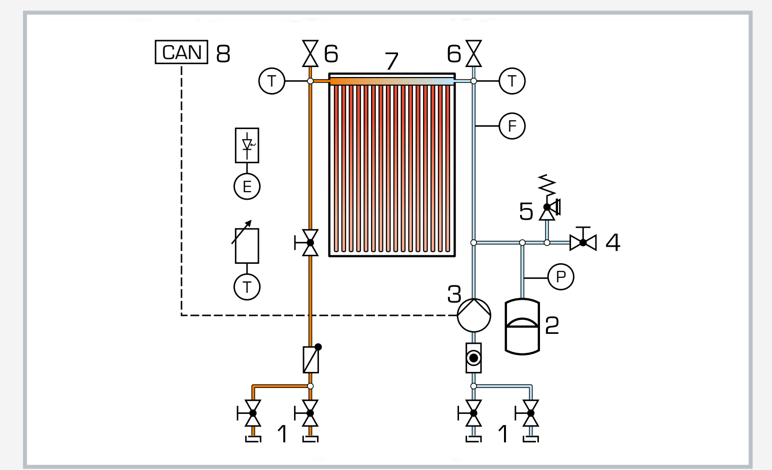
Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules prévues avec le module HL 320.04 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

HL 320.04

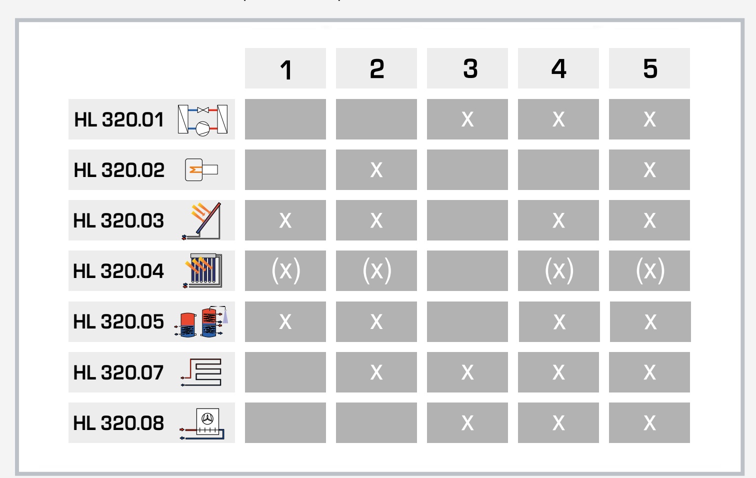
Capteur à tubes sous vide



1 capteur de pression, 2 vanne d'arrêt, 3 connecteurs pour l'eau chaude, 4 connecteurs pour l'eau froide, 5 vase d'expansion à membrane, 6 pompe de circulation, 7 soupape de décharge de pression, 8 capteur de débit, 9 capteur de température, 10 vanne de ventilation



1 raccordements pour conduites de fluide caloporteur avec soupapes d'arrêt et accouplement rapide, 2 vase d'expansion à membrane, 3 pompe, 4 vanne de remplissage, 5 soupape de surpression, 6 purges d'air, 7 capteur à tubes sous vide, 8 bus de données CAN; E éclairement, F débit, T température, P pression



	1	2	3	4	5
HL 320.01			X	X	X
HL 320.02		X			X
HL 320.03	X	X		X	X
HL 320.04	(X)	(X)		(X)	(X)
HL 320.05	X	X		X	X
HL 320.07		X	X	X	X
HL 320.08			X	X	X

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] banc d'essai destiné à étudier le fonctionnement et le comportement en service d'un capteur à tubes sous vide
[2] capteur à tubes sous vide avec revêtement sélectif
[3] angle d'inclinaison du capteur réglable
[4] station solaire circulaire avec pompe, vase d'expansion et soupape de sécurité
[5] technique de mesure et de régulation avec HL 320.05
[6] fonctionnement avec rayonnement solaire ou source de lumière artificielle HL 313.01

Caractéristiques techniques

Capteur
- surface totale: $2{,}1m^2$
- surface de l'absorbeur: $1{,}5m^2$
- contenu de l'absorbeur: 1,5L
- débit nominal: 58L/h

Station solaire circulaire
- pompe solaire: 3 niveaux
- soupape de sécurité: 4bar
- valve de compensation: 1...13L/min

Plages de mesure
- température:
  - 2x 0...160°C
  - 3x -50°C...180°C
- débit: 30....1000L/h
- pression: 0...6bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
Lxlxh: 1660x800x2300mm
Poids: env. 230kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 notice



HL 320.05

Module de réservoir central avec régulateur



L'illustration montre le HL 320.05 avec la boîte de commutation pour HL 320.02

Description

- **module avec réservoir tampon et réservoir bivalent pour systèmes de chauffage avec énergies renouvelables**
- **régulateur universel programmable avec enregistreur de données et logiciel très complet**
- **accouplements rapides faciles d'accès pour toutes les conduites de fluide caloporteur**
- **pompe avec régulation de la vitesse de rotation et vanne motorisée à trois voies pour des configurations diverses**

Le système modulaire HL 320 permet la réalisation d'essais pour la production, le stockage et l'exploitation de la chaleur issue des énergies renouvelables. Il permet l'utilisation de différents sources de chaleur, types de réservoirs et consommateurs. Il intègre différents composants typiques empruntés à la pratique du génie thermique moderne.

Le module de réservoir central HL 320.05 forme le noyau du système modulaire HL 320. HL 320.05 comprend deux types différents de réservoirs de chaleur. Des tuyauteries, une pompe, une vanne motorisée à trois voies et des dispositifs de sécurité.

Les accouplements rapides situés sur la face avant du module permettent le raccordement hydraulique à d'autres modules du système modulaire HL 320.

En outre, le HL 320.05 comprend le régulateur universel programmable UVR1611. Ce régulateur permet de faire fonctionner et d'étudier toutes les associations de modules du HL 320.

Pour chaque association recommandée de modules du HL 320, des données de configuration très documentées sont à disposition pour la réalisation d'essais basiques et avancés. De nouvelles configurations ou modifications peuvent être également enregistrées dans la mémoire du régulateur. Des programmes PC bien conçus peuvent également être utilisés pour la modification des configurations, ainsi que pour la saisie et la représentation des valeurs de mesure.

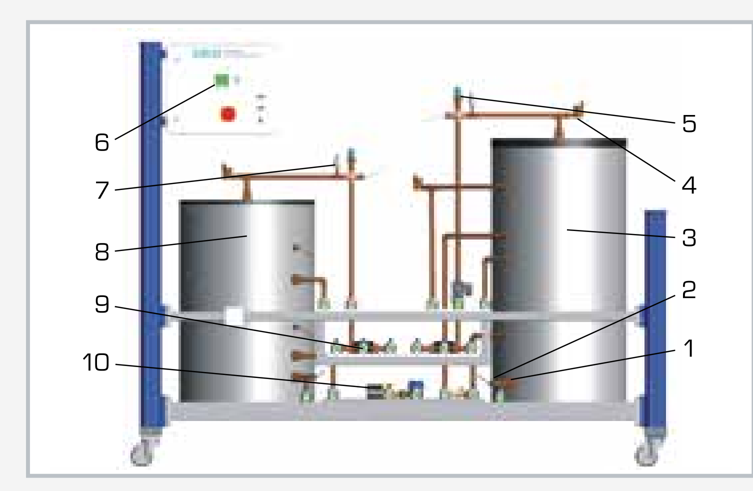
Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules prévues avec le module HL 320.05 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

Contenu didactique/essais

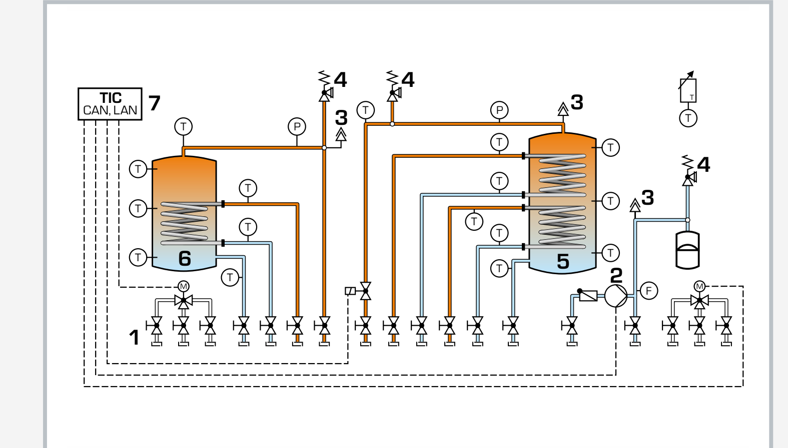
- en fonction des associations de modules choisies du HL 320, il est possible d'étudier les contenus didactiques suivants:
  - familiarisation avec les installations de chauffage modernes basées sur les énergies renouvelables
  - mise en service des installations de chauffage avec solaire thermique et pompe à chaleur
  - conditions de fonctionnement électriques, hydrauliques et relatives aux techniques de régulation
  - propriétés des différents réservoirs de chaleur
  - établissement de bilans énergétiques pour différentes configurations d'installation
  - développement de stratégies de régulation pour différents modes de fonctionnement

HL 320.05

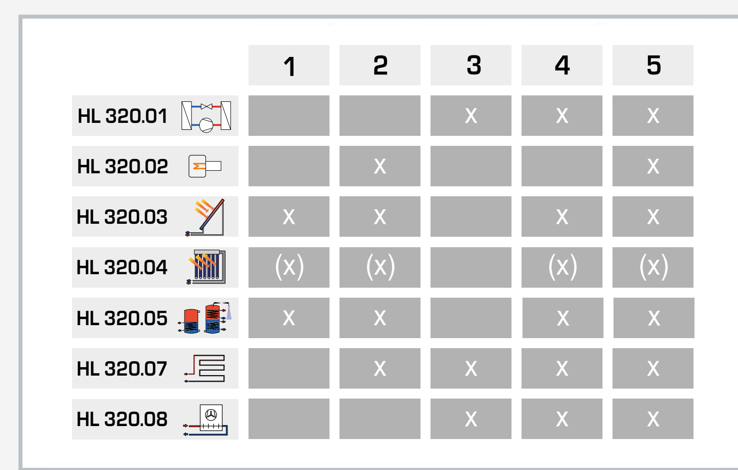
Module de réservoir central avec régulateur



1 alimentation en eau neuve, 2 capteur de température, 3 réservoir bivalent, 4 purge d'air, 5 soupape de surpression, 6 régulateur universel programmable, 7 capteur de pression, 8 réservoir tampon, 9 pompe à vitesse de rotation régulée, 10 vanne motorisée à trois voies



1 raccordements pour conduites de fluide caloporteur avec soupapes d'arrêt et accouplement rapide, 2 pompe, 3 purges d'air, 4 soupapes de surpression, 5 réservoir bivalent, 6 réservoir tampon, 7 régulateur universel programmable TIC;
F débit, P pression, T température



	1	2	3	4	5
HL 320.01			X	X	X
HL 320.02		X			X
HL 320.03	X	X		X	X
HL 320.04	(X)	(X)		(X)	(X)
HL 320.05	X	X		X	X
HL 320.07		X	X	X	X
HL 320.08			X	X	X

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] banc d'essai avec réservoir tampon et réservoir bivalent pour essais avec le système modulaire HL 320
[2] conduites de fluide caloporteur avec accouplements rapides et soupapes d'arrêt
[3] soupapes de surpression et purges d'air pour un fonctionnement sécurisé
[4] pompe de circulation avec régulation de la pression différentielle ou de la vitesse de rotation
[5] vannes motorisées à trois voies
[6] capteur de température pour réservoir de chaleur et température de local
[7] 2 capteurs de pression pour la surveillance de l'installation
[8] débitmètre et capteur de température pour la détermination des flux thermiques
[9] régulateur universel programmable avec enregistreur de données et connexion PC via CAN

Caractéristiques techniques

Réservoir tampon
- volume du réservoir: 150L
- nombre d'échangeurs de chaleur: 1
- pression de service: max. 5bar
- température de service: max. 95°C

Réservoir bivalent
- volume du réservoir: 200L
- nombre d'échangeurs de chaleur: 2
- pression de service: max. 5bar
- température de service: max. 95°C

Pompe
- débit de refoulement max.: $3m^3/h$
- hauteur de refoulement max.: 4m

Régulateur universel
- entrées: jusqu'à 16 (extensibles)
- sorties: jusqu'à 16 (extensibles)
- interfaces: DL-Bus, CAN, LAN

Plages de mesure
- température:
  - 16x -50°C...180°C
  - 1x 0...40°C
- débit: 30...1000L/h
- pression: 2x 0...6bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase, 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2400x810x1900mm
Poids: env. 220kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 documentation didactique (avec des exemples de programmes pour le régulateur universel)

HL 320.07
Chauffage au sol / absorbeur géothermique



Description

- **banc d'essai pour le système HL 320 "Solaire thermique et pompe à chaleur"**
- **utilisation comme dissipateur ou source de chaleur**
- **choix entre différentes longueurs de conduites de fluide caloporteur**
- **capteur de température et de débit pour le raccordement du module de régulateur HL 320.05**

Les chauffages au sol transmettent la chaleur par l'intermédiaire de systèmes de conduites en spirales, ou en méandres situées, en dessous du revêtement du sol. Les températures d'entrée requises pour le fonctionnement des chauffages au sol sont nettement inférieures à celles requises p.ex. pour les radiateurs conventionnels. C'est pourquoi les chauffages au sol sont particulièrement adaptés aux installations de chauffage avec capteurs héliothermiques.

Dans le système modulaire HL 320, le banc d'essai HL 320.07 peut être utilisé, en plus de sa fonction de dissipateur de chaleur d'un chauffage au sol, comme source de chaleur pour une pompe à chaleur. Dans ce cas, la direction de transport de la chaleur est inversée.

Le HL 320.07 est équipé de trois systèmes de conduites de différentes longueurs sélectionnables individuellement. Les conduites sont entourées d'un réservoir qui peut être rempli d'eau si nécessaire. Le système de conduites est équipé de capteurs pour l'enregistrement de la température à l'entrée et au retour.

Il est possible de calculer les quantités de chaleur et les bilans énergétiques avec les données de mesure du débitmètre intégré.

Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules prévues avec le module HL 320.07 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

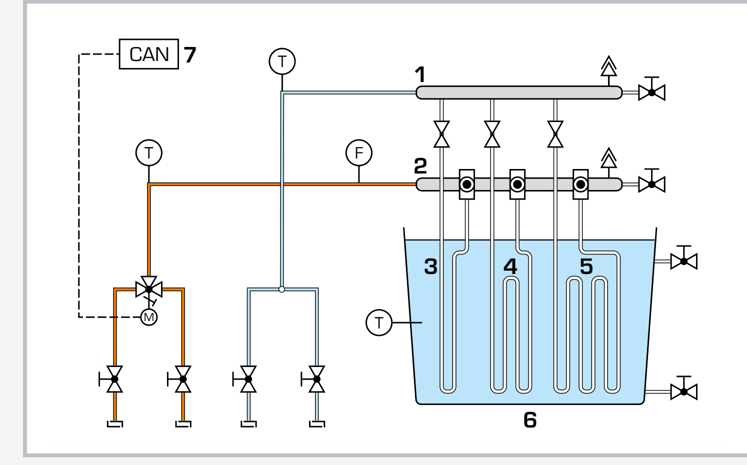
Contenu didactique/essais

- bilan énergétique dans des systèmes de chauffage combinés pour la production d'eau sanitaire et de chauffage
- transmission de la chaleur au sein d'un chauffage au sol
- exploitation de sources de chaleur pour systèmes de pompes à chaleur
- objectifs didactiques du système modulaire HL 320

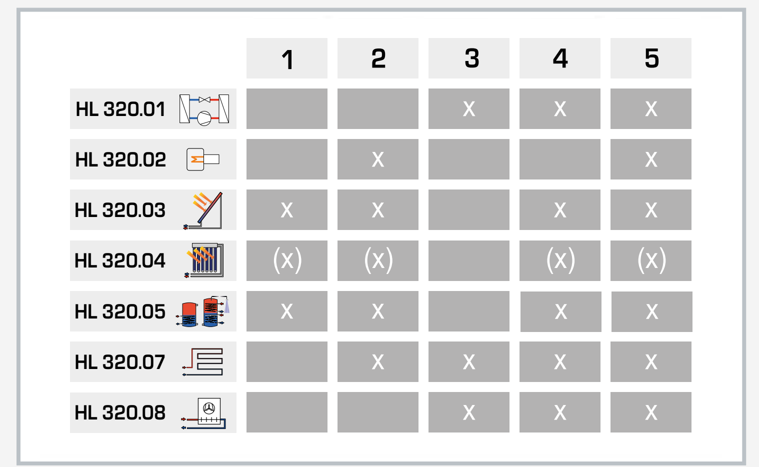
HL 320.07
Chauffage au sol / absorbeur géothermique



1 raccord d'entrée, 2 raccord de retour, 3 réservoir d'eau froide-chaude, 4 distributeur entrée, 5 débitmètre, 6 distributeur retour, 7 panneau d'information, 8 boîtier de raccordement pour capteur, 9 capteur de température retour, 10 débitmètre, 11 capteur de température entrée



1 distributeur retour, 2 distributeur entrée, 3 circuit de conduites de 10m, 4 circuit de conduites de 20m, 5 circuit de conduites de 30m, 6 réservoir pour essais avec eau froide-chaude, 7 bus de données CAN; T température, F débit



	1	2	3	4	5
HL 320.01			X	X	X
HL 320.02		X			X
HL 320.03	X	X		X	X
HL 320.04	(X)	(X)		(X)	(X)
HL 320.05	X	X		X	X
HL 320.07		X	X	X	X
HL 320.08			X	X	X

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] dissipateur ou source de chaleur pour le système modulaire HL 320
[2] trois longueurs de conduites au choix pour la transmission thermique
[3] débitmètre et capteur de température pour la détermination des flux thermiques
[4] réservoir pour l'eau froide ou chaude
[5] raccords pour la transmission des données de mesure à un régulateur externe

Caractéristiques techniques

Conduites
- longueurs: 10m, 20m, 30m
- matériau: polyéthylène
- épaisseur de paroi: 2mm
- diamètre extérieur: 16mm
- pression de service: max. 3bar

Réservoir
- volume: 200L

Plages de mesure
- température: 3x -50...180°C
- débit: 30...1000L/h

Lxlxh: 1500x 800x1700mm
Poids: env. 95kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 notice



HL 320.08
Ventilateur de chauffage / échangeur de chaleur à air



Description

- **module d'essai pour le système modulaire HL 320 "Solaire thermique et pompe à chaleur"**
- **utilisation comme source de chaleur ou dissipateur de chaleur**
- **ventilateur axial à deux niveaux de vitesse de rotation**

Module d'essai composé d'un ventilo-convecteur avec tuyauterie, accouplement rapide et capteurs de température. Le module d'essai peut aussi bien être utilisé pour le chauffage domestique, que pour l'absorption de chaleur ambiante de l'air extérieur. Il peut ainsi être utilisé comme dissipateur de chaleur, ou comme source de chaleur pour une pompe à chaleur.

Dans le cas du chauffage domestique, les ventilateurs de chauffage offrent la possibilité, par rapport aux radiateurs de chauffage classiques, d'atteindre un transfert de chaleur relativement bon, et ce, même pour des dimensions réduites. Cet avantage permet de faire fonctionner le chauffage domestique à des températures réduites dans le circuit de chauffage. Combiné à une pompe à chaleur, le ventilateur de chauffage représente ainsi une application souvent avantageuse d'un point de vue énergétique et économique pour le renouvellement du chauffage dans les bâtiments anciens.

Dans le cas de l'absorption de chaleur ambiante pour l'alimentation en chaleur d'une pompe à chaleur, des échangeurs de chaleur à air sont souvent utilisés lorsque d'autres sources de chaleur, comme les eaux souterraines ou des collecteurs géothermiques, ne sont pas ou difficilement accessibles. L'inconvénient d'un bilan énergétique particulièrement défavorable en hiver est ici compensé par l'avantage procuré par des frais d'investissements réduits.

Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules recommandées avec le module HL 320.08 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

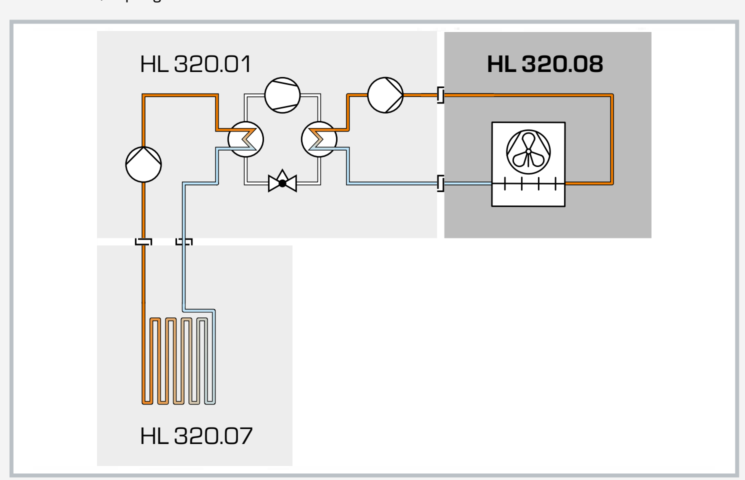
Contenu didactique/essais

- utilisation d'un ventilo-convecteur pour le chauffage ou le refroidissement domestique
- influence de la différence de température entre l'entrée et le retour du circuit de chauffage sur l'efficacité totale d'une installation de chauffage
- conditions de fonctionnement en cas d'utilisation de l'échangeur de chaleur à air dans un système de pompe à chaleur
- comparaison d'un échangeur de chaleur à air avec d'autres sources de chaleur d'un système de pompe à chaleur

HL 320.08
Ventilateur de chauffage / échangeur de chaleur à air



1 boîtier de raccordement avec transducteurs, 2 prise de raccordement CAN-Bus, 3 débitmètre, 4 entrée, 5 vanne à trois voies, 6 retour, 7 capteur de température, 8 ventilo-convecteur, 9 purge d'air



Intégration du HL 320.08 dans une configuration possible du système modulaire HL 320

	1	2	3	4	5
HL 320.01			X	X	X
HL 320.02		X			X
HL 320.03	X	X		X	X
HL 320.04	(X)	(X)		(X)	(X)
HL 320.05	X	X		X	X
HL 320.07		X	X	X	X
HL 320.08			X	X	X

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] ventilo-convecteur pour un raccordement au système modulaire HL 320
[2] ventilateur axial à deux niveaux de vitesse de rotation sélectionnables
[3] commande par régulateur des autres modules du système HL 320 (bus CAN)
[4] capteur de température pour l'entrée et le retour du circuit
[5] accouplement rapide à robinets d'arrêt pour la liaison de la tuyauterie

Caractéristiques techniques

Ventilateur
- vitesse: 900/1400min^{-1}
- débit de refoulement: 683/1155m^{3}h^{-1}

Échangeur de chaleur
- puissance nominale de refroidissement: 2kW
- pression de service max.: 10bar

Plages de mesure
- température:
  - 3x -50°C...180°C
- débit: 30...1000L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
Lxlxh: 1500x 800x1500mm
Poids: env. 95kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 notice



Le programme complet GUNT – équipements pour l'enseignement technique



1 Mécanique appliquée et conception mécanique

- statique
- résistance des matériaux
- dynamique
- dynamique des machines
- conception mécanique
- essai des matériaux



2 Mécatronique

- dessin industriel
- modèles en coupe
- métrologie
- technique d'assemblage et d'ajustage
- techniques de production
- kits d'assemblage
- maintenance
- diagnostic de machines
- automatisation et conduit de procédés



3 Génie thermique et énergie

- principes de base de la thermodynamique
- applications thermo-dynamiques en CVC
- énergies renouvelables
- machines à fluide thermiques
- génie frigorifique et génie climatique





4 Mécanique des fluides

- écoulement stationnaire
- écoulement non stationnaire
- écoulements autour de corps
- machines à fluide
- éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- génie hydraulique



5 Génie de procédés

- génie des procédés mécaniques
- génie des procédés thermiques
- génie des procédés chimiques
- génie des procédés biologiques
- traitement de l'eau



6 2E Energy & environment

Energy

- énergie solaire
- énergie hydraulique et énergie marine
- énergie éolienne
- biomasse
- géothermie
- systèmes énergétiques
- éfficacité énergétique en génie du batîment

Environment

- eau
- air
- sol
- déchets



Planification et conseils · Service technique
Mise en service et formation



Index

Mot-clé	Code (page)
A	
absorbeur géothermique	HL 320.07 (314)
absorption de rayonnement	WL 362 (32) WL 460 (50)
accumulateur de glace	ET 420 (268)
air d'admission	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196) ET 508 (160)
ammoniaque comme agent réfrigérant	ET 480 (212)
analyse de gaz d'échappement	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196) ET 850 (130) HL 352 (238)
angle de rayonnement	ET 202 (248) HL 313 (250) HL 320.03 (308) HL 320.04 (310) WL 362 (32)
angle de vilebrequin	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
API	ET 620 (280)
auto-allumage	CT 100.22 (180) CT 100.23 (181) CT 151 (171) CT 400.02 (194)
automatisation d'une installation de climatisation	ET 605.01 (289) ET 605.02 (289) ET 605.03 (289)
B	
banc d'essai pour moteurs	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
Boltzmann, loi	WL 362 (32) WL 460 (50)
bouche de ventilation	ET 620 (280) HL 720 (272)
bulles de vapeur	WL 210 (56)
C	
calorimètre	CT 110 (182) CT 300 (188) ET 805.50 (118)
calorimètre à étranglement	ET 805.50 (118)
calorimètre à séparation	ET 805.50 (118)
calorimètre pour gaz d'échappement	CT 110 (182) CT 300 (188)
capacité thermique	CT 110 (182) CT 300 (188) WL 422 (44)
capacité thermique spécifique des gazes d'échappement	CT 110 (182) CT 300 (188)
capteur à tubes sous vide	HL 320.04 (310)
capteur de position de vilebrequin	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
capteur plan	ET 202 (248) HL 313 (250) HL 320.03 (308)
capteur solaire	ET 202 (248) HL 313 (250) HL 320.03 (308) HL 320.04 (310)
caractéristique couple-vitesse	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
caractéristique de la turbine	ET 792 (144) ET 794 (148)
caractéristique de puissance	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
caractéristique du compresseur	ET 432 (158) ET 500 (154) ET 512 (162) ET 513 (156)
centrale électrique à vapeur	ET 805 (140) ET 810 (122) ET 813 (126) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 850 (130)
chaîne de sécurité	ET 860 (116)
chaleur d'évaporation	WL 320 (106)
chambre de climatisation	ET 605 (290) ET 915.07 (286)
chambre de combustion	ET 794 (148)
chambres de combustion interchangeables	CT 152 (172)
changement d'état de l'air	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.07 (286) WL 201 (22) WL 312 (98) WL 320 (106) ET 915.06 (284)
chaudière	ET 810 (122) ET 813.01 (124) ET 830 (134) ET 850 (130) ET 860 (116)

Mot-clé	Code (page)
chauffage à l'aide d'air comprimé	ET 122 (210)
chauffage au sol	HL 320.07 (314)
chauffage d'eau sanitaire	HL 313 (250) HL 320.02 (306) HL 320.07 (314)
chauffer et refroidir dans le diagramme h,x	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.07 (286)
circuit solaire	ET 202 (248) HL 313 (250) HL 320.03 (308) HL 320.04 (310)
clapet coupe-feu	ET 620 (280) HL 720 (272)
Clausius-Rankine, cycle	ET 352 (208) ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 850 (130)
Clément-Desormes	WL 103 (20)
coefficient adiabatique	WL 103 (20)
coefficient d'air	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196) ET 796 (150)
coefficient de performance	ET 102 (222/260) ET 120 (206) ET 350 (220) ET 352 (208) ET 400 (204) ET 405 (262) ET 420 (268)
coefficient de rayonnement	WL 377 (38)
coefficient de transfert de chaleur	WL 225 (108) WL 230 (62) WL 314.01 (72) WL 314.02 (73) WL 314.03 (74) WL 315C (102) WL 377 (38) WL 420 (42)
coefficient global de transfert de chaleur	WL 110 (86) WL 302 (78) WL 308 (76) WL 315C (102) WL 315.01 (80)
colonne de refroidissement	WL 320 (106)
comparaison des éléments d'expansion différents	ET 915.01 (228) ET 915.02 (230)
comparaison des grandeurs caractéristiques installation frigorifique / pompe à chaleur	ET 405 (262)
comportement en service sous charge	ET 102 (222/260) ET 352 (208) ET 480 (212) ET 605 (290) ET 915.01 (228) ET 915.02 (230)
composition du mélange	CT 152 (172)
compresseur	ET 432 (158) ET 500 (154) ET 508 (160) ET 512 (162) ET 513 (156)
compresseur à éjection de vapeur	ET 352 (208)
compresseur à piston	ET 432 (158) ET 500 (154) ET 508 (160) ET 512 (162) ET 513 (156)
compresseur à plusieurs étages	ET 500 (154) ET 508 (160)
compresseur à un étage	ET 513 (156)
compresseur d'agent réfrigérant ouvert	ET 432 (158)
compression variable	CT 152 (172)
condensation en film	WL 230 (62)
condensation en gouttes	WL 230 (62)
condenseur	ET 805 (140) ET 810 (122) ET 813 (126) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 851 (132) WL 230 (62)
conditionnement de l'air ambiant	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.07 (286)
conduction thermique	WL 315C (102) WL 372 (34) WL 376 (36) WL 420 (42) WL 422 (44) WL 430 (46) WL 900 (52)
conduction thermique dans les corps métal	WL 372 (34) WL 420 (42) WL 900 (52)
conduction thermique dans les corps solides	WL 372 (34) WL 376 (36) WL 420 (42) WL 430 (46)
conduction thermique dans les fluides	WL 422 (44)
conduction thermique linéaire	WL 372 (34)
conduction thermique radiale	WL 372 (34)
conductivité thermique	ET 262 (254) WL 372 (34) WL 376 (36) WL 420 (42) WL 900 (52)

Mot-clé	Code (page)
conduit d'air	ET 620 (280) ET 915.06 (284) ET 915.07 (286) HL 720 (272)
consommation de carburant	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
consommation de carburant spécifique	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
consommation de combustible spécifique	ET 792 (144) ET 794 (148) ET 796 (150) ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138)
consommation spécifique de vapeur	ET 805 (140) ET 813 (126) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 851 (132)
convection	WL 377 (38) WL 430 (46) WL 440 (48)
convection forcée	WL 312 (98) WL 314 (70) WL 430 (46) WL 440 (48)
convection libre	WL 314 (70) WL 430 (46)
courant croisé WL 315C (102)	WL 110.03 (92)
courbe caractéristique pression-débit volumétrique	ET 432 (158)
courbe de pression de vapeur de l'eau	ET 810 (122) ET 813 (126) WL 204 (60) WL 220 (58) WL 230 (62)
courbe de puissance	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
courbes caractéristiques d'un élément Peltier	ET 120 (206)
cycle de Clausius-Rankine	ET 352 (208) ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 850 (130)
D	
déshumidifier	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.07 (286) WL 201 (22)
détecteur de fumée	ET 620 (280)
détente de la vapeur	ET 805.50 (118)
déterminer la puissance frigorifique	ET 350 (220) ET 400 (204) ET 420 (268)
diagramme de puissance	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
diagramme de température-pression	WL 204 (60)
diagramme h,s	ET 850 (130) ET 805.50 (118)
diagramme h,x	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.06 (284) ET 915.07 (286) WL 201 (22) WL 320 (106)
diagramme log p,h	ET 102 (222/260) ET 350 (220) ET 400 (204) ET 405 (262) ET 420 (268) ET 915.01 (228) ET 915.02 (230)
diagramme p,t	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
diagramme p,V	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196) ET 500 (154) ET 508 (160) ET 795 (146)
dispositif de freinage	CT 110 (182) CT 300 (188) CT 400 (196)
dispositif de sécurité	ET 860 (116)
E	
ébullition nucléée	WL 220 (58)
ébullition pelliculaire	WL 210 (56) WL 220 (58)
ébullition surrefroidi	WL 210 (56)
écart entre les limites de refroidissement	WL 320 (106)

Mot-clé	Code (page)
échange de gaz	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
échangeur de chaleur à air	HL 320.08 (316)
échangeur de chaleur à contre-courant	WL 110 (86)
échangeur de chaleur à courant parallèle	WL 110 (86)
échangeur de chaleur à double enveloppe	WL 110.04 (94) WL 315C (102)
échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	WL 110.03 (92) WL 315C (102)
échangeur de chaleur à plaques	WL 110.02 (90) WL 315C (102)
échangeur de chaleur coaxial	WL 110.01 (88) WL 302 (78) WL 308 (76) WL 315C (102)
échangeur de chaleur par contact direct	WL 320 (106)
échangeur de chaleur tube à ailettes	ET 300 (82) WL 312.02 (97) WL 312.03 (97)
échangeur de chaleur, puissance	ET 300 (82) WL 110 (86) WL 302 (78) WL 308 (76) WL 315C (102)
éclairement	ET 202 (248) HL 320.03 (308)
écoulement à bouchons	WL 210 (56)
écoulement annulaire	WL 210 (56)
écoulement vaporisé	WL 210 (56)
effet Peltier	ET 120 (206)
effet thermoélectrique	ET 120 (206)
efficacité énergétique	ET 420 (268)
élément d'expansion	ET 915.01 (228) ET 915.02 (230)
élément Peltier	ET 120 (206)
émission de rayonnement	WL 362 (32) WL 460 (50)
évaporateur direct	ET 620 (280) WL 312 (98)
F	
fluidisation	WL 225 (108)
flux thermique	WL 302 (78) WL 314 (70)
frein à courants parasites	CT 400 (196) ET 851 (132)
G	
gaz parfaits	WL 103 (20)
générateur	ET 810 (122) ET 830 (134) ET 833 (138)
générateur de froid à Vortex	ET 122 (210)
générateur de vapeur	ET 813.01 (124) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 850 (130)
géothermie	ET 262 (254) ET 264 (256) HL 320.07 (314)
grille de protection contre les intempéries	HL 720 (272) ET 620 (280)
H	
héliothermie	ET 202 (248) HL 313 (250) HL 320.03 (308) HL 320.04 (310)
humidicateur de vapeur	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.07 (286)
humidifier	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.07 (286)
humidité de l'air	ET 620 (280) ET 915.06 (284) ET 915.07 (286) HL 720 (272) WL 201 (22) WL 202 (24) WL 320 (106) WL 920 (28)
hygromètre	WL 201 (22)
hygromètre à cheveu	WL 201 (22)



Index

Mot-clé	Code (page)
I	
injection directe	CT 100.22 (180) CT 151 (171) CT 400.02 (194)
installation de climatisation	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.06 (284) ET 915.07 (286)
installation de production d'air comprimé	ET 500 (154) ET 512 (162) ET 513 (156)
installation de turbine à gaz	ET 792 (144) ET 794 (148) ET 795 (146)
installation de ventilation	HL 720 (272)
installation frigorifique à absorption	ET 480 (212)
installation frigorifique à compression	ET 102 (222/260) ET 350 (220) ET 400 (204) ET 405 (262) ET 420 (268) ET 915.01 (228) ET 915.02 (230)
intégration matériel/logiciel	ET 915 (226)
K	
Kirchhoff, lois	WL 362 (32) WL 460 (50)
KVP (régulateur de pression d'évaporation)	ET 405 (262) ET 915.02 (230)
L	
Lambert, loi	WL 362 (32) WL 460 (50)
Lambert, loi d'éloignement	WL 362 (32) WL 460 (50)
limiteur de pression	ET 860 (116)
lit fluidisé	WL 225 (108)
loi d'éloignement de Lambert	WL 362 (32) WL 460 (50)
loi de Boltzmann	WL 362 (32) WL 460 (50)
loi de Lambert	WL 362 (32) WL 460 (50)
lois de Kirchhoff	WL 362 (32) WL 460 (50)
M	
machine à vapeur à piston	ET 810 (122) ET 813 (126)
machine frigorifique à éjection de vapeur	ET 352 (208)
manomètre à tube de Bourdon	WL 203 (26)
manomètre à tube incliné	WL 203 (26)
matériaux de construction	WL 376 (36)
mesure capacitive d'humidité	WL 201 (22)
mesure de la poussée	ET 792 (144) ET 796 (150)
mesure de la pression	WL 203 (26)
mesure de la pression dans un cylindre	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
mesure de température	WL 202 (24) WL 920 (28)
mesure d'humidité de l'air	WL 320 (106) WL 201 (22) WL 202 (24) WL 920 (28)
mesure hygrométrique d'humidité	WL 201 (22)
mesure psychrométrique d'humidité	WL 201 (22) WL 202 (24) WL 920 (28)
mode d'air extérieur	ET 605 (290) ET 915.07 (286)
mode de circulation d'air	ET 915.07 (286)
Mollier	ET 605 (290) ET 620 (280) ET 915.06 (284) ET 915.07 (286) WL 201 (22) WL 320 (106)
montage en parallèle des évaporateurs	ET 405 (262) ET 915.02 (230)
montage en série des évaporateurs	ET 405 (262) ET 915.02 (230)
moteur à allumage commandé	CT 100.20 (178) CT 100.21 (179) CT 150 (170) CT 152 (172) CT 153 (173) CT 400.01 (192)
moteur à chambre de précombustion	CT 100.23 (181)
moteur à chambre de tourbillonnement	CT 100.23 (181)
moteur à chambre de turbulence	CT 100.23 (181)
moteur à deux temps	CT 100.21 (179) CT 153 (173)

Mot-clé	Code (page)
moteur à essence	CT 100.20 (178) CT 100.21 (179) CT 150 (170) CT 152 (172) CT 153 (173) CT 400.01 (192)
moteur à quatre temps	CT 100.20 (178) CT 100.22 (180) CT 100.23 (181) CT 150 (170) CT 151 (171) CT 152 (172) CT 300.04 (186) CT 300.05 (187) CT 400.01 (192) CT 400.02 (194)
moteur à réaction	ET 792 (144) ET 796 (150)
moteur asynchrone	CT 110 (182) CT 300 (188)
moteur diesel	CT 100.22 (180) CT 100.23 (181) CT 151 (171) CT 400.02 (194)
moteur refroidi à l'air	CT 100.20 (178) CT 100.21 (179) CT 100.22 (180) CT 150 (170) CT 151 (171) CT 152 (172) CT 153 (173)
moteur refroidi à l'eau	CT 100.23 (181) CT 300.05 (187) CT 400.01 (192) CT 400.02 (194)
N	
niveau de congélation	ET 915.02 (230)
niveau de refroidissement normal	ET 915.02 (230)
nombre de Nusselt	WL 314 (70) WL 377 (38) WL 440 (48)
nombre de Reynolds	WL 314 (70) WL 440 (48)
Nusselt, nombre	WL 314 (70) WL 377 (38) WL 440 (48)
O	
observer la transition entre phases	ET 350 (220) WL 210 (56) WL 220 (58) WL 230 (62)
P	
persienne	HL 720 (272) ET 620 (280)
perte par frottement	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
point critique, eau	WL 204 (60)
point d'allumage	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
point d'ébullition, eau	WL 204 (60)
point triple, eau	WL 204 (60)
pompe à chaleur	ET 102 (222/260) ET 405 (262) HL 320.01 (304)
pompe à chaleur air-eau	ET 102 (222/260)
poussée spécifique	ET 792 (144) ET 796 (150)
Prandtl	WL 314.01 (72) WL 314.02 (73) WL 314.03 (74)
pression indiquée	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
principe du heatpipe	ET 262 (254)
procédé de condensation	WL 230 (62)
procédé d'évaporation	WL 210 (56) WL 220 (58)
procédure de démarrage, turbine à gaz	ET 795 (146) ET 796 (150)
production du froid avec air comprimé	ET 122 (210)
production du froid avec énergie d'entraînement thermique	ET 352 (208) ET 480 (212)
production du froid thermoélectrique	ET 120 (206)
profil de pression	ET 620 (280) ET 860 (116) HL 720 (272) WL 225 (108)
profil de température	WL 110 (86) WL 372 (34) WL 440 (48) WL 900 (52)
psychromètre	WL 201 (22) WL 202 (24) WL 920 (28)
Pt100	WL 202 (24) WL 920 (28)
puissance frigorifique, détermination de	ET 350 (220) ET 400 (204) ET 420 (268)
puissance indiquée	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)

Mot-clé	Code (page)
Q	
quantité de chaleur du moteur rejetée	CT 100.23 (181) CT 400.01 (192) CT 400.02 (194)
R	
rapport de pression de compresseur	ET 102 (222/260) ET 400 (204) ET 405 (262) ET 432 (158) ET 508 (160) ET 795 (146)
rayonnement	WL 460 (50) WL 362 (32) WL 377 (38)
rayonnement thermique	WL 362 (32) WL 377 (38) WL 460 (50)
rayonnement, angle	ET 202 (248) HL 313 (250) HL 320.03 (308) HL 320.04 (310) WL 362 (32)
réflexion de rayonnement	WL 362 (32) WL 460 (50)
réfrigérateur de camping	ET 480 (212)
régulateur de climatisation	ET 605 (290) ET 620 (280)
régulateur de pression d'évaporation	ET 405 (262) ET 915.02 (230)
rendement de la chaudière	ET 810 (122) ET 830 (134) ET 850 (130)
rendement de la turbine à gaz	ET 792 (144) ET 794 (148) ET 796 (150)
rendement de la turbine à vapeur	ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 851 (132)
rendement volumétrique	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196) ET 432 (158) ET 513 (156)
réservoir agitateur	WL 110.04 (94) WL 315C (102)
réservoir de chaleur	HL 320.05 (312)
résistance thermique	WL 376 (36) WL 420 (42) WL 422 (44)
Reynolds, nombre	WL 314 (70) WL 440 (48)
S	
séparateur d'eau avec siphon	ET 805.50 (118)
silencieux à coulisse	ET 620 (280) HL 720 (272)
sonde géothermique	ET 262 (254)
surchauffeur	ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 850 (130)
surface d'absorbeur	ET 202 (248) HL 320.03 (308)
surfaces de ruissellement	WL 320 (106)
système à deux puits	ET 264 (256)
système d'exercices HSI	ET 915 (226)
T	
taux de compression	CT 152 (172)
technique de ventilation	ET 620 (280) HL 720 (272)
température de gaz d'échappement	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188) CT 400 (196)
test à froid	CT 110 (182) CT 159 (174) CT 300 (188)
thermistance CTN	WL 202 (24) WL 920 (28)
thermocouple	WL 202 (24) WL 920 (28)
thermomètre	WL 202 (24) WL 920 (28)
thermomètre à bilame	WL 202 (24) WL 920 (28)
thermomètre à pression de gaz	WL 202 (24)
thermomètre à résistance électrique	WL 202 (24) WL 920 (28)
titre de la vapeur	ET 805.50 (118)
tour de refroidissement par voie humide	ET 420 (268) WL 320 (106)
tour de refroidissement par voie sèche	ET 420 (268)
traitement de l'eau d'alimentation	ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138)

Mot-clé	Code (page)
transfert de chaleur	WL 362 (32) WL 377 (38) WL 420 (42) WL 422 (44) WL 440 (48) WL 460 (50)
transfert de chaleur convectif	ET 300 (82) WL 210 (56) WL 230 (62) WL 314 (70) WL 315C (102) WL 320 (106) WL 430 (46) WL 440 (48)
transfert de chaleur convectif, air	WL 312 (98) WL 314 (70)
transformation d'état adiabatique	WL 103 (20)
transformation d'état des gaz isochore/isotherme	WL 102 (18)
transformation d'état isochore	WL 103 (20)
transformations d'état des gaz	WL 102 (18)
transition entre phases, observation	ET 350 (220) WL 210 (56) WL 220 (58) WL 230 (62)
tube capillaire	ET 405 (262) ET 915.01 (228) ET 915.02 (230)
tube Vortex	ET 122 (210)
turbine à action	ET 796 (150) ET 851 (132)
turbine à gaz	ET 792 (144) ET 794 (148) ET 795 (146) ET 796 (150)
turbine à vapeur	ET 830 (134) ET 833 (138) ET 851 (132)
turbine axiale	ET 796 (150) ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 851 (132)
turbine de puissance	ET 792 (144) ET 794 (148)
U	
unité d'alimentation en retour	CT 110 (182) CT 300 (188)
V	
vapeur chaude	ET 805 (140) ET 830 (134) ET 833 (138) ET 850 (130)
vapeur humide	ET 850 (130) WL 210 (56)
vapeur saturée	WL 204 (60)
ventilateur de chauffage	HL 320.08 (316)
ventilation et climatisation	HL 720 (272)
ventilo-convecteur	HL 320.08 (316)
vitesse de fluidisation	WL 225 (108)



Aperçu de produits

CT		
CT 100.20	Moteur essence quatre temps pour CT 110	178
CT 100.21	Moteur essence deux temps pour CT 110	179
CT 100.22	Moteur diesel quatre temps pour CT 110	180
CT 100.23	Moteur diesel quatre temps, refroidi par eau, pour CT 110	181
CT 110	Banc d'essai pour moteurs monocylindres, 7,5 kW	182
CT 150	Moteur essence quatre temps pour CT 159	170
CT 151	Moteur diesel quatre temps pour CT 159	171
CT 152	Moteur essence quatre temps à compression variable pour CT 159	172
CT 153	Moteur essence deux temps pour CT 159	173
CT 159	Banc d'essai modulaire pour moteurs monocylindres, 2,2 kW	174
CT 300	Banc d'essai pour moteurs, 11 kW	188
CT 300.04	Moteur essence deux cylindres pour CT 300	186
CT 300.05	Moteur diesel deux cylindres pour CT 300	187
CT 400	Unité de charge, 75 kW, pour moteurs quatre cylindres	196
CT 400.01	Moteur essence quatre cylindres pour CT 400	192
CT 400.02	Moteur diesel quatre cylindres pour CT 400	194

ET		
ET 102	Pompe à chaleur	222
ET 102	Pompe à chaleur	260
ET 120	Refroidissement à l'aide de l'effet Peltier	206
ET 122	Générateur de froid à vortex	210
ET 202	Principes de base de l'héliothermie	248
ET 262	Sonde géothermique avec principe du heatpipe	254
ET 264	Exploitation de la géothermie avec un système à deux puits	256
ET 300	Échangeur de chaleur tube à ailettes eau/air	082
ET 350	Changements d'état dans un circuit frigorifique	220
ET 352	Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique	208
ET 400	Circuit frigorifique avec charge variable	204
ET 405	Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage	262
ET 420	Accumulateurs de glace en génie frigorifique	268
ET 432	Comportement d'un compresseur à piston	158
ET 480	Installation frigorifique à absorption	212
ET 500	Compresseur à piston bi-étagé	154
ET 508	Simulateur d'un compresseur bi-étagé	160
ET 512	Installation de génération d'air comprimé avec compresseur à piston	162
ET 513	Compresseur à piston à un étage	156
ET 605	Modèle d'installation de climatisation	290
ET 620	Installation de climatisation et de ventilation	280
ET 792	Turbine à gaz	144
ET 794	Turbine à gaz avec turbine de puissance	148
ET 795	Simulateur d'une turbine à gaz	146
ET 796	Turbine à gaz comme moteur à réaction	150
ET 805	Centrale thermique à vapeur 20 kW avec système de conduite de procédés	140
ET 805.50	Détermination du titre de la vapeur	118
ET 810	Centrale thermique à vapeur avec machine à vapeur	122
ET 813	Machine à vapeur à deux cylindres	126
ET 830	Centrale thermique à vapeur 1,5 kW	134
ET 833	Centrale thermique à vapeur 1,5 kW avec système de conduite de procédés	138
ET 850	Générateur de vapeur	130
ET 851	Turbine à vapeur axiale	132
ET 860	Dispositifs de sécurité sur les chaudières à vapeur	116
ET 915	Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base	226
ET 915.01	Modèle réfrigérateur	228
ET 915.02	Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation	230
ET 915.06	Modèle d'installation de climatisation simple	284
ET 915.07	Modèle de climatisation	286

HL		
HL 313	Chauffage d'eau sanitaire avec capteur plan	250
HL 320.01	Pompe à chaleur	304
HL 320.02	Chauffage conventionnel	306
HL 320.03	Capteur plan	308
HL 320.04	Capteur à tubes sous vide	310
HL 320.05	Module de réservoir central avec régulateur	312
HL 320.07	Chauffage au sol/absorbeur géothermique	314
HL 320.08	Ventilateur de chauffage/échangeur de chaleur à air	316
HL 352	Banc d'essai pour brûleurs à fioul, à gaz naturel et à gaz propane	238
HL 352.01	Brûleur à fioul	240
HL 352.02	Brûleur à gaz naturel	241
HL 352.03	Brûleur à gaz propane	242
HL 720	Installation de ventilation	272

WL		
WL 102	Transformations d'état des gaz	018
WL 103	Détente des gaz parfaits	020
WL 110	Unité d'alimentation pour échangeurs de chaleur	086
WL 110.01	Échangeur de chaleur coaxial	088
WL 110.02	Échangeur de chaleur à plaques	090
WL 110.03	Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	092
WL 110.04	Réservoir agitateur avec double enveloppe et serpentin	094
WL 201	Principes de base de la mesure d'humidité de l'air	022
WL 202	Principes de base de la mesure de température	024
WL 203	Principes de base de la mesure de pression	026
WL 204	Pression de vapeur de l'eau	060
WL 210	Procédé d'évaporation	056
WL 220	Procédé d'ébullition	058
WL 225	Transfert de chaleur dans un lit fluidisé	108
WL 230	Procédé de condensation	062
WL 302	Transfert de chaleur dans l'échangeur de chaleur coaxial	078
WL 308	Transfert de chaleur dans un écoulement tubulaire	076
WL 312	Transfert de chaleur par écoulement d'air	098
WL 314	Transfert de chaleur convectif dans un écoulement d'air	070
WL 314.01	Transfert de chaleur convectif dans des tubes avec un écoulement parallèle	072
WL 314.02	Transfert de chaleur convectif dans des tubes avec un écoulement mélangé	073
WL 314.03	Transfert de chaleur convectif à l'intérieur d'un tube	074
WL 315.01	Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire vapeur/eau	080
WL 315C	Comparaison de différents échangeurs de chaleur	102
WL 320	Tour de refroidissement par voie humide	106
WL 362	Transfert d'énergie par rayonnement	032
WL 372	Conduction thermique radiale et linéaire	034
WL 376	Conductivité thermique dans les matériaux de construction	036
WL 377	Convection et rayonnement	038
WL 420	Conduction thermique dans des métaux	042
WL 422	Conduction thermique dans des fluides	044
WL 430	Conduction thermique et convection	046
WL 440	Convection libre et forcée	048
WL 460	Transfert de chaleur par rayonnement	050
WL 900	Conduction thermique en régime stationnaire et dynamique	052
WL 920	Techniques de mesure de la température	028

Contact

G.U.N.T. Gerätebau GmbH
Hanskampring 15 – 17
D-22885 Barsbüttel
Allemagne

Tél. +49 (0)40 67 08 54 - 0
Fax +49 (0)40 67 08 54 - 42
Email sales@gunt.de
Web www.gunt.de



Consultez notre
page d'accueil
www.gunt.de